

## Recomendações práticas para levantamentos de reconhecimento a detalhado de solos



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**  
**Embrapa Solos**  
**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

## **DOCUMENTOS 207**

# Recomendações práticas para levantamentos de reconhecimento a detalhado de solos

*Virlei Álvaro de Oliveira*  
*Glênio Guimarães Santos*  
*Leonardo Santos Collier*  
*Maurício Rizzato Coelho*  
*José Francisco Lumbreras*  
*Humberto Gonçalves dos Santos (in memoriam)*  
*Pedro Marques da Silveira*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, nº 1.024, Bairro Jardim Botânico  
CEP: 22460-000, Rio de Janeiro, RJ  
Fone: + 55 (21) 2179-4500  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Solos**

Presidente  
*Vinicius de Melo Benites*

Secretário-Executivo  
*Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Membros  
*Adriana Vieira de Camargo de Moraes,  
Bernadete da Conceição C.G. Pedreira, David  
Vilas Boas de Campos, Evaldo de Paiva  
Lima, Helga Restum Hissa, José Francisco  
Lumbreras, Joyce Maria Guimarães Monteiro,  
Maurício Rizzato Coelho, Michele Belas  
Coutinho Pereira, Ricardo de Oliveira Dart,  
Wenceslau Gerales Teixeira*

Supervisão editorial  
*Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisão de texto  
*Marcos Antônio Nakayama*

Normalização bibliográfica  
*Luciana Sampaio de Araujo*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Alexandre Abrantes Cotta de Mello*

**1ª edição**  
1ª impressão (2019): on line

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Solos

---

Recomendações práticas para levantamentos de reconhecimento a detalhado de  
solos / Virlei Álvaro de Oliveira ... [et al.]. – Rio de Janeiro : Embrapa Solos,  
2019.

71 p. : il. color. – (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 207).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>>.

Título da página da Web (acesso em 15 jul. 2019).

1. Reconhecimento do solo. 2. Mapa. 3. Classificação do solo. I. Oliveira, Virlei  
Álvaro de. II. Santos, Glênio Guimarães. III. Collier, Leonardo Santos. IV. Coelho,  
Maurício Rizzato. V. Lumbreras, José Francisco. VI. Santos, Humberto Gonçalves  
dos. VII. Silveira, Pedro Marques da. VIII. Embrapa Solos. IX. Série.

CDD 631.44

## Autores

### **Virlei Álvaro de Oliveira**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Geociências e Meio Ambiente, pesquisador aposentado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Goiânia, GO.

### **Glênio Guimarães Santos**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.

### **Leonardo Santos Collier**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, professor da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.

### **Maurício Rizzato Coelho**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

### **José Francisco Lumberas**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Planejamento e Gestão Ambiental, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

### **Humberto Gonçalves dos Santos (in memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

### **Pedro Marques da Silveira**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.



## Apresentação

Neste documento, estão descritos, de forma sucinta, os principais procedimentos necessários para a elaboração de mapas de solos. Seu objetivo principal é transmitir informações de ordem prática para a elaboração de levantamentos de solos, cujo conteúdo é pouco abordado na literatura nacional e nas disciplinas de pedologia ministradas nos cursos ordinários das instituições de ensino do País, principal meio de formação de pedólogos no Brasil. Ênfase é dada às atividades relativas à cartografia, aos procedimentos de campo e à classificação dos solos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

A presente publicação tem como referências bibliográficas orientadoras o SiBCS (Santos et al., 2018), o Manual Técnico de Pedologia da Fundação IBGE (IBGE, 2015a, 2015b) e o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015). Parte-se do pressuposto de que os leitores possuem conhecimentos teóricos mínimos relativos à ciência do solo e ao conteúdo dessas obras para que possam assimilar com mais facilidade os aspectos práticos da atividade, que é a elaboração de mapas de solos com qualidade. Tanto o SiBCS como o Manual Técnico de Pedologia possuem versões em formato e-book disponíveis nos sites da Embrapa Solos e da Fundação IBGE, respectivamente.

É oportuno mencionar que a presente publicação foi parte do material didático disponibilizado em um curso ministrado em Goiás (municípios de Goiânia e Brazabrantés) no ano de 2016, parcialmente financiado pelo projeto intitulado “Pesquisa e Inovação para Aprimoramento da Taxonomia de Solos Brasileiros”, financiado pela Embrapa e liderado pela Embrapa Solos. O formato desse curso pode ser considerado pioneiro nos moldes em que foi ministrado, tendo sido elaborado de forma a proporcionar aos interessados uma maior proximidade com as principais atividades práticas requeridas para a execução de levantamentos de solos.

Petula Ponciano Nascimento  
*Chefe-Geral em exercício da Embrapa Solos*



## Sumário

Introdução .....	9
Sistemática de trabalho .....	10
Mapeamento de solos .....	13
Vertente cartográfica do mapeamento de solos .....	22
Vertente pedológica do mapeamento de solos.....	56
Elaboração de legendas de mapas de solos .....	68
Elaboração de mapas de solos.....	70
Referências .....	70



## Introdução

A presente publicação corresponde à apostila do curso intitulado “Classificação e Mapeamento de Solos: Curso Prático Intensivo com Enfoque nos Solos do Planalto Central do Brasil”, adaptada para ser publicada nos moldes da Série Documentos da Embrapa. O referido curso foi ministrado em Goiás (municípios de Goiânia e Brazabrantes) para duas turmas nos períodos de 8 a 13 de agosto de 2016 e 3 a 8 de outubro do mesmo ano. Esta publicação aborda os temas classificação e mapeamento de solos, atividades indissociáveis quando se trata da execução de levantamentos de solos.

Quiçá esta publicação possa servir de referência para iniciativas similares, principalmente considerando a possibilidade de retomada dos levantamentos sistemáticos de solos e interpretações de uso das terras em escala nacional, por meio do PronaSolos (Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos do Brasil), recentemente instituído pelo Governo Federal por meio do Decreto n. 9414, de 19 de junho de 2018 (Brasil, 2018). A implantação desse programa possibilitará a divulgação de informações mais detalhadas dos solos brasileiros necessárias ao planejamento e tomada de decisão no meio rural, possibilitando, muito além da sua exploração adequada e racional, a preservação dos recursos naturais solo, água e vegetação, contribuindo para a segurança alimentar do País.

A ideia é que esta publicação possa servir de material didático na capacitação de pedólogos nas diversas fases de execução do PronaSolos.

A classificação dos solos por meio de sua caracterização e enquadramento em um sistema taxonômico especializado, no caso o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, facilita a comunicação acerca desse recurso natural, possibilitando a transmissão de um conjunto de informações de forma rápida e com boa precisão. Por exemplo, por meio de uma única palavra, “Latossolo”, passa-se a informação que se trata de um solo muito intemperizado em que predominam atributos como boa profundidade efetiva, boa drenagem e baixas CTC e fertilidade natural (Santos et al., 2018). Por sua vez, o ato de mapear implica, além de caracterizar e classificar os solos, proceder à delimitação de suas ocorrências no terreno e as representar na forma de mapas (Estados Unidos, 2017). Na realidade, o mapa de solos, como comentado anteriormente,

é o instrumento ou a ferramenta que possibilita ao homem planejar e promover as mais adequadas ou racionais formas de exploração de cada solo ou ambiente, assim como a sua conservação ou preservação (IBGE, 2015a).

A classificação de solos propicia a divulgação de conhecimentos e troca de informações entre cientistas e usuários em diferentes partes do mundo (Resende et al., 2014). Por sua vez, a única ferramenta que possibilita o tratamento adequado, direcionado a cada tipo de solo, é o mapa de solo. Em outras palavras, para explorar os diversos solos em grandes áreas com as costumeiras atividades de agricultura e pecuária, ou mesmo para muitos outros fins, a simples classificação de um solo perde sua efetividade se não vier complementada pelo mapeamento, ou seja, a localização de cada tipo de solo na paisagem ou ambiente.

Interessante observar que, muitas vezes, os trabalhos interpretativos realizados para atender a determinados fins, como a avaliação da aptidão agrícola das terras, a avaliação da capacidade de uso das terras e os zoneamentos diversos, são requeridos sem a preocupação com a execução prévia do levantamento de solo em escala adequada ao objetivo do trabalho. Entretanto, cabe lembrar que essas interpretações são geradas a partir de mapas de solos e que serão tanto melhores quanto melhores forem os mapas de solos que lhes subsidiaram. Não se elabora nenhum mapa interpretativo sem antes elaborar o mapa de solos.

O objetivo deste documento é disponibilizar informações sobre procedimentos práticos empregados em trabalhos de cartografia de solos, que envolvem as etapas de caracterização, classificação e o mapeamento propriamente dito, pouco difundidas na literatura nacional, possibilitando a ampliação do público interessado para muito além dos participantes do curso supracitado.

## **Sistemática de trabalho**

O curso “Classificação e Mapeamento de Solos: Curso Prático Intensivo com Enfoque nos Solos do Planalto Central do Brasil” foi estruturado para ser ministrado em 5,5 dias consecutivos de aulas (44 horas) e versou exclusivamente sobre as atividades concernentes às várias etapas para execução de um levantamento de solos, sem a pretensão de abordar questões relacionadas a outros ramos da ciência do solo ou temas afins.

Foram programadas aulas teóricas e práticas objetivas, relacionadas às duas vertentes básicas de um mapa de solos: (a) caracterização/classificação de solos; e (b) cartografia de solos. Em função da grande demanda, o curso foi ministrado para duas turmas, sendo uma no período de 8 a 13 de agosto, e a outra, no período de 3 a 8 de outubro de 2016.

No momento da inscrição, os participantes do curso foram orientados sobre os procedimentos para aquisição das versões digitais usadas como referências no curso (SiBCS e Manual Técnico de Pedologia da Fundação IBGE), sendo, também, solicitada a leitura atenciosa das partes mais relacionadas com o tema mapeamento de solos. Também foram distribuídas aos participantes, como material didático, uma apostila relacionada ao tema e cópias impressas das referências citadas anteriormente.

Nos dois primeiros dias, foram realizadas aulas teóricas e práticas sobre os temas cartografia e classificação de solos, que são as duas principais vertentes necessárias para a elaboração de mapas de solos. Na oportunidade, foram realizadas práticas de interpretação de imagens de sensores remotos e de classificação de solos, empregando-se, nesta última atividade, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

O terceiro dia foi dedicado à visita e conhecimento de cinco dos principais solos da região de Goiânia. Nos locais, foram estudados e discutidos aspectos de morfologia e classificação dos perfis de solos em associação com a análise do ambiente (vegetação original, litologia, uso e manejo atual) e de potencialidade agrícola das terras. No passo seguinte, os participantes tiveram em mãos os resultados das análises físicas e químicas dos perfis a fim de que executassem, com supervisão, a interpretação da descrição morfológica e a classificação de cada solo até o nível de família.

No quarto dia, os trabalhos foram direcionados às atividades de prospecção de campo com o propósito de realizar um levantamento de solos na escala 1:100.000 de uma área de aproximadamente 20.000 ha, localizada nas proximidades de Goiânia. A escala e o nível de detalhamento foram propositalmente escolhidos, considerando-se que esse será o nível de levantamento principal dos trabalhos a serem elaborados pelo PronaSolos. Devido às limitações de tempo, os trabalhos de prospecção se deram em um único dia, o que obviamente foi insuficiente para a realização do levantamento de solos de toda a área. Por essa razão, as ações foram direcionadas para as atividades de campo mais importantes em um trabalho desta natureza. Algumas ações exercitadas em campo nesse dia

foram: (a) práticas de orientação em campo através dos produtos de sensores remotos (práticas de “navegação”); (b) identificação de alvos diversos associados com os padrões dos sensores (imagens); (c) controle de caminhamento e de deslocamento em campo; (d) seleção dos locais mais apropriados para as observações/identificação dos solos e para a composição de legenda das unidades de mapeamento de solos; e (e) discussão de critérios para frequência de observações e amostragem, entre outras. Também, nesse dia, foram visitados e examinados os perfis representativos do ambiente estudado, já identificados e caracterizados previamente. De posse dos resultados analíticos dos perfis, os participantes procederam à sua classificação e, ao final do curso, propuseram a composição da legenda do mapa de solos.

O quinto dia do curso foi dedicado à execução das principais atividades de campo necessárias à realização de um levantamento detalhado de solos em uma área de cerca de 80 ha, localizada nas proximidades da cidade de Brazabrantes, estado de Goiás, de propriedade da Embrapa Arroz e Feijão. Também, propositalmente, o nível de detalhamento foi escolhido visando a atender um outro segmento dos trabalhos a serem desenvolvidos pelo PronaSolos, que são os levantamentos detalhados a serem executados em áreas específicas ou especiais.

O foco do curso no treinamento em atividades de campo voltadas para levantamentos de solos com níveis de detalhamento distintos e alinhados às escalas de trabalho previstas para serem executadas no PronaSolos tiveram dois objetivos básicos: (a) treinar os participantes do curso em trabalhos na mesma escala de abordagem do PronaSolos; e (b) mostrar aos participantes que níveis de detalhamento diferentes, em levantamentos de solos, requerem procedimentos diferenciados em muitas etapas do levantamento, desde o seu planejamento até a seleção e interpretação dos materiais a serem empregados. Entre essas variações metodológicas, adotadas em função do nível de detalhamento do mapeamento, estão: critérios a serem implementados na seleção e interpretação dos sensores, os procedimentos de campo, a forma de deslocamento e de alcance dos alvos de investigação, os próprios alvos de investigação, a quantidade e qualidade da amostragem, a intensidade das averiguações de campo, o tempo de duração dos trabalhos, as características e propriedades dos solos a serem abordadas e determinadas com o intuito de atender primeiramente às necessidades requeridas pelo SiBCS para enquadramento

nos níveis taxonômicos mais “inferiores” e, secundariamente, atender aos propósitos de cada levantamento.

Nesse quinto dia de curso, que foi a última aula em campo, os trabalhos se deram também em um único dia e consistiram de ações inerentes a um trabalho de levantamento detalhado, sendo que os perfis representativos das unidades de mapeamento, previamente separados por interpretação preliminar de imagens, foram observados em trincheiras previamente abertas. De posse dos resultados analíticos, coube aos participantes a identificação e classificação dos solos, e finalmente, a elaboração e composição da legenda de identificação do mapa.

Nas práticas de campo, executadas em apenas dois dias para a execução de ambos os mapeamentos, naturalmente não foi possível realizar todos os trabalhos necessários em razão do exíguo tempo. Porém, o propósito foi que fossem treinadas “in loco” as atividades principais do trabalho de campo envolvidas em um mapeamento, como: (a) diferenças na intensidade de prospecção em função da escala de trabalho; (b) navegação em campo com uso de imagens de sensores, GPS, mapas, etc.; e (c) caracterização de algumas unidades de mapeamento (UMs) e a checagem das linhas de separação entre elas. Em síntese, fez-se uma pequena mostra do como se faz trabalhos de mapeamentos de solos em campo.

O sexto dia pela manhã foi dedicado ao encerramento do curso, com apresentação dos resultados dos mapeamentos e da classificação dos perfis de solo estudados.

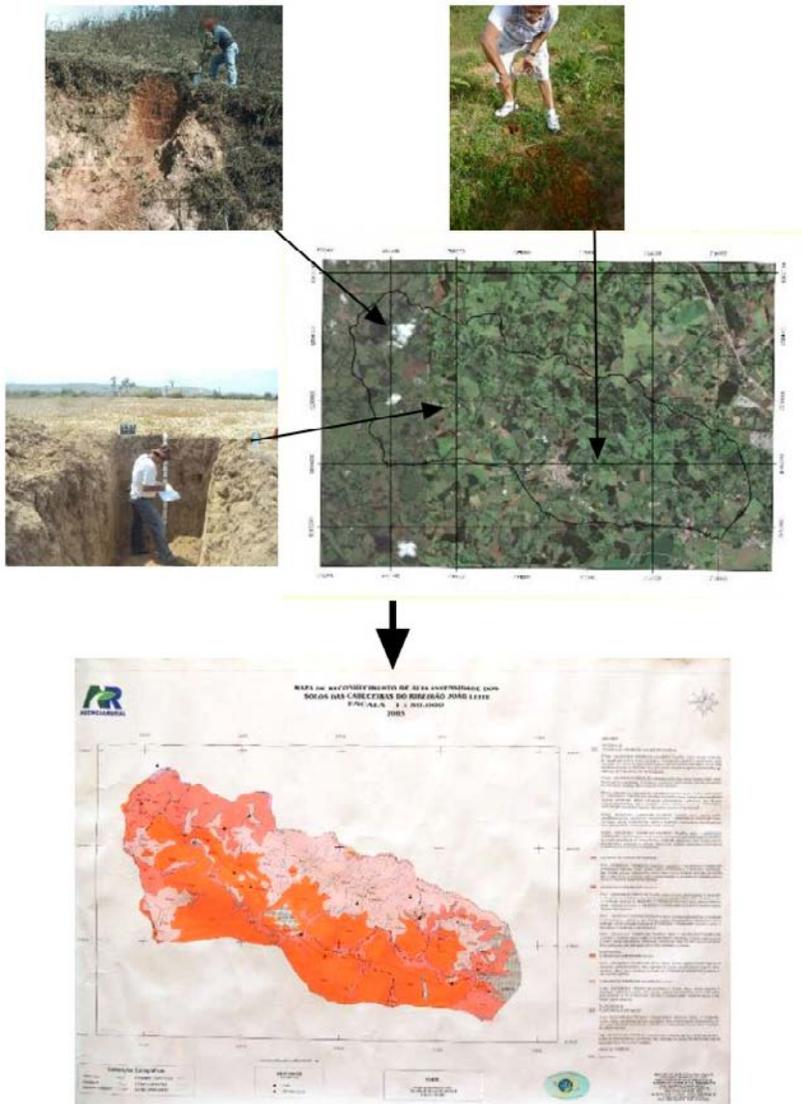
## **Mapeamento de solos**

A atividade de mapeamento de solos ou a elaboração de mapas de solos pode ser definida como o “ato de representar em papel o arrançamento (distribuição espacial) dos diversos solos na natureza”, conforme o Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015a).

Um mapeamento de solos, assim como qualquer outro mapeamento, envolve atividades de reconhecimento e caracterização do alvo em campo (no caso, o solo) e a delimitação de sua distribuição espacial sobre uma base cartográfica específica da área em estudo. A Figura 1 ilustra algumas atividades envolvidas no mapeamento, como a identificação de alguns ambientes na

paisagem (figura superior à esquerda), e a representação das unidades de mapeamento no mapa de solos (figura abaixo à direita).

Fotos: Virlei Álvaro de Oliveira.



**Figura 1.** Ilustração de algumas etapas de sondagem de solos em campo necessárias à elaboração de um mapa de solos.

A delimitação espacial dos solos (delimitação do contorno das “manchas” de solos) de forma mais precisa e realística é uma tarefa conseguida com auxílio de imagens de sensores remotos (“fotografias” da superfície da terra tomadas à distância por meio de sensores), de cartas planialtimétricas e prospecções de campo.

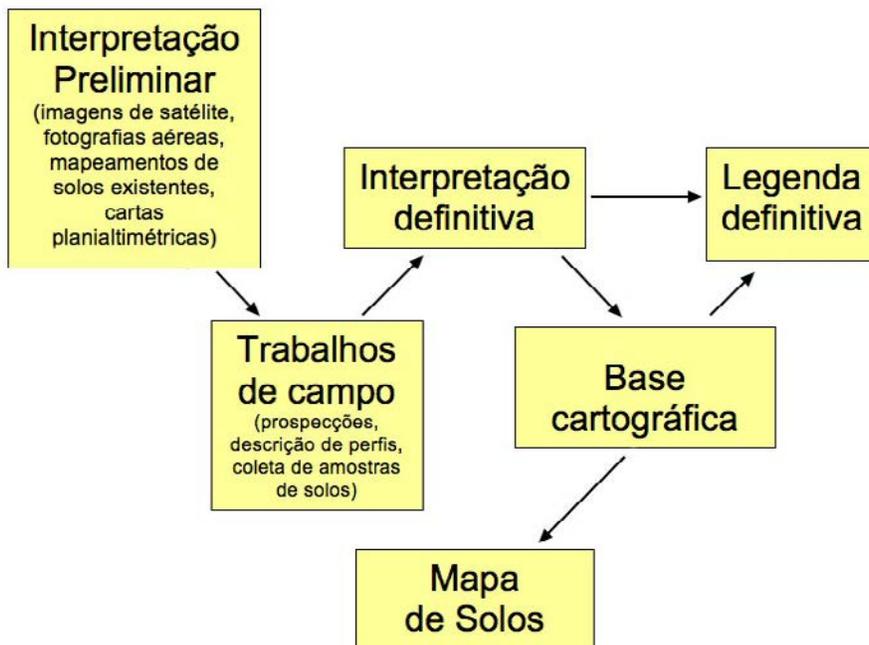
Diferente de outros componentes do ambiente natural, como, por exemplo, o relevo, os solos não podem ser fotografados ou “imageados” em seu perfil vertical por meio de sensores orbitais ou suborbitais. Por isso, por meio desses sensores, não é possível acessar informações de sua seção vertical, que é a seção por meio da qual os solos são descritos, amostrados e classificados. Esse é um complicador, que pode ser contornado com o emprego de técnicas específicas, como a interpretação de algumas características ambientais refletidas em imagens de sensores, as quais são posteriormente associadas aos tipos de solos ou aos pedoambientes (solos + paisagem). Na prática, o que se faz é identificar os solos no campo por meio de suas seções verticais (exame do perfil) e verificar suas correlações com padrões de imagens. Busca-se, em campo, estabelecer ou identificar o tipo de reflexão de cada imagem de sensor (padrão de imagem) e, concomitantemente, identificar o tipo de solo ou definir a associação de solos ocorrente em cada ambiente em associação com o padrão de imagem de sensor identificado. Portanto, o mapeamento de solos se dá tanto por meio de informações colhidas diretamente em campo, como de informações indiretas, por meio, nesse último caso, de fatores ou características detectáveis em sensores. Essas informações indiretas, portanto, associadas às observações de campo e ao conhecimento científico (fatores de formação de solo; relação solo-paisagem), possibilitam uma espacialização das diversas ocorrências de solos, quer isoladamente ou na forma de associações.

É importante mencionar que não existe uma fórmula matemática ou estatística para elaboração de mapas de solos. Existem procedimentos básicos e técnicas padrões que servem de orientações gerais, os quais são paulatinamente refinados à medida que os pedólogos acumulam experiência de mapeamento. Importa também observar que cada área, em função de suas peculiaridades, é diferente de outra, o que implica dizer que cada levantamento é diferente do outro, podendo requerer adaptações nos procedimentos básicos padrões supramencionados.

O ato de mapear os solos envolve algumas ações subjetivas, muitas vezes focadas na delimitação de padrões de imagens ou de fotografias aéreas (fotointerpretação/interpretação) e na extrapolação de informações com base nestes padrões, principalmente quando se trata de levantamentos mais generalizados. No caso de levantamentos detalhados, a extrapolação de informações com bases nos padrões de sensores (imagens) perde espaço para a atividade intensiva de investigações de campo (visita, amostragem e observações da paisagem), razão pela qual, nestes últimos, o grau de acerto e a precisão das informações são bem maiores que nos primeiros. Portanto, o percentual de ações subjetivas e conseqüentemente as possibilidades de erros, na elaboração dos mapas de solos, diminuem substancialmente nos trabalhos mais detalhados.

Os trabalhos de mapeamento de solos se dão em duas vertentes principais: (1) a cartografia, que é a parte responsável pela espacialização das informações de solos no mapa; e (2) o conhecimento pedológico, que é a parte que trata da identificação e classificação dos solos, e de suas caracterizações morfológica, física, química e mineralógica, assim como de suas relações com os outros componentes ambientais na paisagem.

A Figura 2 ilustra, em linhas gerais, as principais fases consideradas essenciais para elaboração de um mapa de solos. Os trabalhos na vertente cartográfica estão inseridos em praticamente todas as fases, sendo menos determinantes apenas na construção da legenda definitiva. Embora não explicitado na Figura 2, na fase denominada "interpretação preliminar" estão inseridas atividades diversas, desde a busca de informações preexistentes na literatura, passando pela definição do material cartográfico básico necessário, seleção e aquisição de sensores remotos, delimitação das áreas de trabalho, interpretação preliminar, planejamento de logística operacional, definição de amostragem e determinações analíticas, dimensionamento das equipes técnicas e de apoio, dentre outras. Na fase relativa aos "trabalhos de campo", incluem-se as atividades de identificação e classificação preliminar dos solos, a amostragem e o mapeamento propriamente dito, seguindo com o processamento das análises laboratoriais das amostras de terra, a classificação definitiva dos solos e a interpretação também definitiva dos sensores remotos empregados e seu lançamento sobre uma base cartográfica oficial do levantamento que se está executando e, finalmente, a montagem da legenda definitiva.



**Figura 2.** Fases para a elaboração de um mapa de solos.

O ideal teórico de conhecimento cartográfico dos solos, para qualquer país, região ou área, seria o mapeamento detalhado, quando todos os mapas se prestariam a todos os fins ou demandas. Entretanto, dadas as dificuldades inerentes à execução dos levantamentos detalhados (maiores custos e maiores prazos de execução), foram criadas modalidades de levantamentos de solos em níveis de detalhamento distintos, que atendem a demandas diferentes.

Assim, de acordo com IBGE (2015a), os levantamentos generalizados (mapas ou cartas em escalas pequenas, entre 1:750.000 e 1:2.500.000) são realizados em grandes áreas (países, estados, regiões fisiográficas) e disponibilizam informações de solos de forma mais generalizada, sendo as unidades de mapeamento constituídas por associações de solos formadas, em geral, por até cinco componentes ou unidades taxonômicas de solos. Geralmente são trabalhos pioneiros, executados em áreas ainda desconhecidas e servem para atender a demandas governamentais, visando à expansão de fronteiras agrícolas, a alocação de rodovias, de

ferrovias e portos, bem como para o direcionamento de políticas diversas e dependentes da avaliação das potencialidades e limitações das terras. No outro extremo, os levantamentos detalhados (mapas ou cartas em escalas grandes,  $\geq 1:10.000$ ) são realizados em pequenas áreas (microbacias, fazendas, glebas) e disponibilizam informações de solos em alto detalhamento, sendo as unidades de mapeamento mais comumente representadas por unidades simples e, portanto, bastante homogêneas em termos de variação de tipos de solos. São levantamentos considerados da categoria dos executivos, pois se prestam para subsidiar o desenvolvimento de projetos executivos diversos, como aqueles destinados à exploração agrícola com e sem irrigação e à conservação do solo, uma vez que disponibilizam, além de uma cartografia detalhada, dados específicos (morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos) de cada solo necessários ao seu planejamento, uso e manejo, não rotineiramente fornecidos nos demais níveis de detalhamento.

Posicionados entre os mapeamentos generalizados e os detalhados, existem vários outros tipos de levantamentos considerados intermediários, que atendem a demandas também consideradas intermediárias.

A Tabela 1 sintetiza algumas diferenças e características associadas aos diferentes níveis de detalhamento de levantamentos de solos. Observa-se que, para a elaboração dos mapas de solos nos diversos níveis de detalhamento, deve-se trabalhar com ações equilibradas em ambas as vertentes (cartográfica e o conhecimento pedológico), ou seja, para cada nível de levantamento, há uma faixa de detalhamento cartográfico que tem como principal componente definidor a escala adotada; esta irá nortear o refinamento dos limites físicos entre as unidades de mapeamento de solos, definindo os seus tamanhos e formas, a quantidade de tipos de solos ou unidades taxonômicas e sua complexidade de variação dentro de cada unidade. Assim, para cada nível de levantamento há uma associação direta entre o detalhe cartográfico com o tipo de informação gerada e seu potencial de emprego, definindo o seu grau de “pureza” e o nível de detalhamento do mapa de solos, a expectativa de acerto ou de precisão das informações; tudo isto determinado por métodos diferentes de prospecção em campo (intensidade e formas de observação e de amostragem).

**Tabela 1.** Características associadas a alguns níveis de detalhamento de levantamentos de solos.

Níveis de levantamentos de solos	Objetivos	Métodos de prospecção	Material cartográfico e sensores remotos básicos (expectativa de acerto - "precisão")	Constituição de unidades de mapeamento (UMs)	a) Escala preferencial dos mapas/cartas finais b) Área mínima mapeável c) Frequência de amostragem
Exploratório	Informação generalizada do recurso solo em grandes áreas	Muitas extrapolações, generalizações e correlações; poucas observações de campo	Mapas/cartas planialtimétricas, imagens de radar, imagens de satélites e fotoíndices em escalas pequenas Baixa precisão (50% a 80%)	Associações com até cinco componentes na unidade de mapeamento de solos. Classificação em nível de ordens e subordens de solos	a) 1:750.000 a 1:2.500.000 b) 22,5 km <sup>2</sup> a 250 km <sup>2</sup> c) 1 perfil completo por classe de solo predominante na associação
Reconhecimento de média Intensidade	Estimativa de natureza qualitativa e semiquantitativa do recurso solo	Extrapolações, verificações de campo e correlações solo-paisagem	Mapas/Cartas planialtimétricas, imagens de radar e de satélites ortorretificadas em escalas intermediárias <1:50.000 e > 1:250.000. MDT ou MDE Média precisão (70% a 90%)	UMs formadas por associações de grandes grupos ou subgrupos de solos e ordens de solo	a) 1:100.000 a 1:250.000 b) 40 ha a 2,5 km <sup>2</sup> c) 1 perfil completo por unidade simples ou componente de associação
Detalhado	Execução de projetos de uso intensivo do solo	Verificações de campo somente	Mapas/Cartas planialtimétricas, levantamentos topográficos com curvas de nível, sensores orbitais de alta resolução e/ou fotografias aéreas em escalas ≥ 1:50.000. MDT ou MDE Alta precisão (> 90%)	Unidades simples, poucas associações de solos em nível de famílias e séries de solos	a) ≥ 1:20.000 b) < 1,6 ha c) 1 perfil completo e 2 complementares por classe de solo identificada no nível taxonômico mais baixo (família/série)

MDT: Modelo digital de terreno; MDE: Modelo digital de elevação.  
Fonte: Adaptado de Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015a).

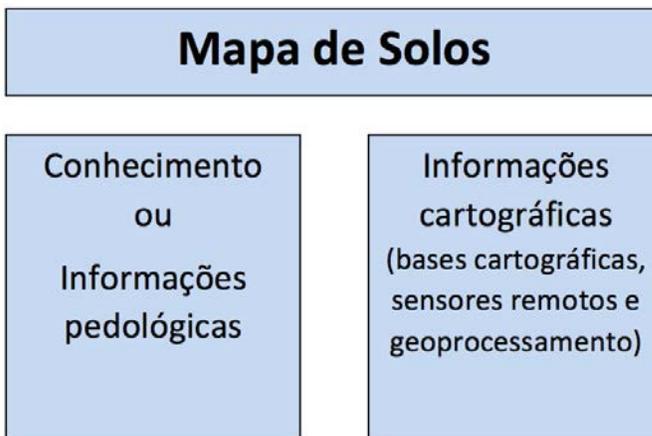
Para exemplificar as diversas etapas visando à elaboração de um mapa de solos e a relação entre a escala cartográfica e o detalhamento das informações, suponhamos que a um pedólogo tenha sido demandado a execução de um levantamento de solos com o objetivo de subsidiar um projeto de irrigação. Foi requisitado também que se consiga individualizar áreas no terreno com dimensões de até 0,5 ha, sendo este valor a referência de área mínima que deve ser mapeada e representada no mapa, ou seja, a denominada área mínima mapeável (AMM). Conforme consta no Manual Técnico do IBGE (2015a), a escala adotada deverá ser de 1:10.000 ou mais detalhada para a elaboração do referido mapa, dependendo do tamanho e da variabilidade dos solos da área, bem como da densidade e tipo de observações planejadas. Supondo-se que a escala selecionada seja a de 1:10.000, primeiramente deve-se prever a elaboração de base cartográfica com esse nível de detalhamento para assentar as informações de solos a serem adquiridas com o mapeamento. Como essas bases cartográficas raramente estão disponíveis ou não existem, resta ao responsável pelo projeto requerer o seu processamento junto ao organismo contratante, quer adequando bases existentes generalizadas, por meio de técnicas de interpretação de sensores remotos e de geoprocessamento, ou realizando levantamento topográfico do terreno para a finalidade desejada.

Resolvida a questão da base cartográfica, procede-se à aquisição de imagens de sensores remotos também compatíveis com a escala, o que nos dias atuais é relativamente fácil tamanha a quantidade de programas espaciais produzindo tal material, como mostra o Manual Técnico do IBGE (2015a, 2015b). A fase seguinte é realizar os trabalhos de interpretação preliminar sobre a(s) imagem(ns), que deve(m) estar preferencialmente na mesma escala de apresentação do mapa (no caso 1:10.000) ou em escalas maiores, com resolução espacial adequada para satisfazer a questão da AMM. Em seguida, executar os trabalhos de campo direcionados para o nível de detalhe selecionado do levantamento, ou seja, realizar amostragem para atender às variações ao nível de família do SiBCS, realizando a amostragem recomendada de 1 perfil completo e 2 complementares por classe de solo identificada no nível taxonômico de família, e proceder ao mapeamento de campo visitando-se, preferencialmente, todos os padrões de imagem que foram separados por interpretação preliminar. Deve-se evitar, ao máximo, a prática de extrapolação de padrões de imagens por meio da visita a todas os padrões identificados na interpretação preliminar e, em complemento, direcionando os trabalhos de campo a fim de prover subsídios à elaboração do projeto de irrigação propriamente dito (coleta de amostras para determinação de curvas de retenção de umidade, realização

de testes de infiltração de água, avaliação da profundidade efetiva dos solos, entre outras análises e observações).

A mudança de detalhamento de um mapa de solos já concluído só é possível no sentido do nível mais detalhado para o menos detalhado, ou seja, somente é recomendado proceder à generalização do mapeamento, mas nunca o contrário. A partir de um mapa produzido originalmente na escala 1:100.000, é possível, por exemplo, gerar um mapa mais generalizado na escala 1:500.000 com a eliminação de informações cartográficas e taxonômicas, mas não será possível transformá-lo em um mapa mais detalhado, do tipo 1:10.000, pois, para isso, seria necessário acrescentar informações taxonômicas que só podem ser adquiridas com novos trabalhos de campo, de laboratório e usando bases cartográficas com informações compatíveis com o nível de detalhe do novo mapeamento pretendido.

Um bom mapa de solos, em qualquer nível de detalhamento, deve ser elaborado mantendo-se a coerência de informações em seus dois pilares de sustentação (Figura 3), ou seja, o nível de detalhamento cartográfico deve estar compatível com o nível das informações taxonômicas de solos. Não se pode, por exemplo, ter um levantamento detalhado (escala 1:10.000), estando os solos classificados apenas em nível de grande grupo taxonômico, ou sem a prospecção de campo e amostragem mínima necessárias, ou ainda usando bases cartográficas que não apresentam, por exemplo, curvas de nível adequadas ao nível do mapeamento pretendido.



**Figura 3.** Pilares de sustentação para a elaboração de um mapa de solos.

## **Vertente cartográfica do mapeamento de solos**

### **Bases cartográficas**

Após definida a área de trabalho, a primeira ação é organizar a base cartográfica com detalhamento compatível à escala selecionada.

A base cartográfica é um mapa ou carta em escala compatível com o nível de levantamento de solos pretendido, contendo os dados necessários para o mapeamento de solos, como: altimetria, estradas, cidades, povoados e rede de drenagem, entre outras informações relevantes.

Não cabe ao pedólogo elaborar a base cartográfica do trabalho. A Fundação IBGE e o Serviço Geográfico do Exército são as instituições oficiais no Brasil para a produção de bases cartográficas no setor público. Entretanto, é perfeitamente possível a sua execução por outras entidades.

Em trabalhos de mapeamento contratados por instituições públicas, geralmente é de responsabilidade do contratante a organização das bases cartográficas necessárias ao trabalho. Quando inexistente uma base oficial no nível de detalhamento requerido, são envidados esforços para a melhoria do detalhamento da base oficial existente com incorporação de novas informações obtidas por meio de trabalhos no campo ou extraídas de imagens de sensores em resolução compatível.

### **Mapeamentos de solos preexistentes**

A consulta a mapeamentos de solos preexistentes é outra tarefa de suma importância a ser desenvolvida. É de onde são extraídas as primeiras informações que deverão ser consultadas e utilizadas como auxílio para a confecção do mapa. Comumente, orientam os trabalhos de interpretação e formação de uma legenda preliminar.

Mapas geológicos, mapas de vegetação e mapas geomorfológicos devem também ser consultados como materiais de apoio na separação dos padrões ambientais e caracterização geral da área.

## Imagens de sensores remotos

Trata-se de material fundamental para a elaboração dos mapas de solos, pois é a ferramenta que permite traçar o delineamento mais realístico das ocorrências de solos identificados no campo, ou seja, somente as imagens de sensores fornecem, visualmente, o contorno dos objetos do mapeamento, caracterizados como padrões de imagens.

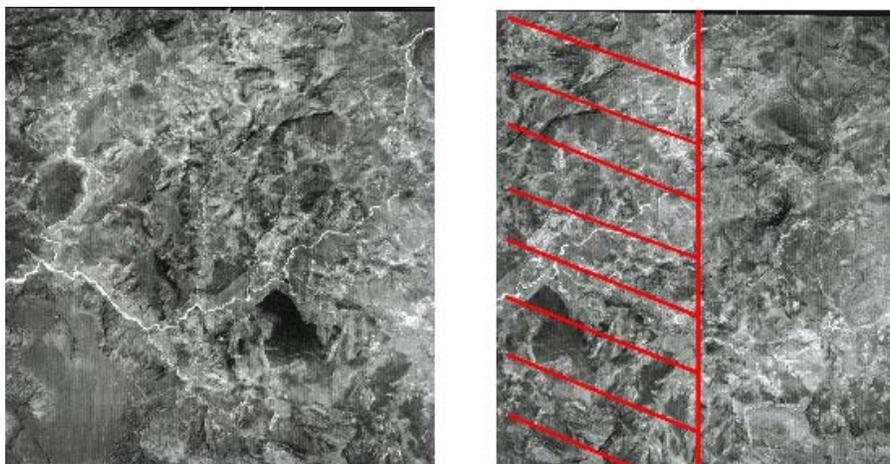
Alguns trabalhos pioneiros de levantamentos de solos realizados no Brasil não fizeram uso de nenhum tipo de produto de sensor remoto em razão da época em que foram realizados, tampouco utilizaram bases cartográficas bem elaboradas e, por isso, têm a sua vertente cartográfica muito deficiente. Somente em meados da década de 1960 é que o sensoriamento remoto começou a ser utilizado no Brasil para esse fim.

Na década de 1960, o governo brasileiro contratou os serviços da Força Aérea Americana (USAF) para fazer a cobertura aerofotogramétrica de parte do território nacional, na escala 1:60.000 (exceto a região amazônica e outras regiões chuvosas). Esse fato não somente impulsionou sobremaneira a execução de mapas de solos no Brasil, como proporcionou uma melhoria substancial na qualidade cartográfica dos mapas, tanto diretamente pelo uso na fotointerpretação das fotografias aéreas, como indiretamente pelo seu uso na confecção de bases cartográficas.

### Produtos de sensores existentes e disponíveis

#### Fotografias aéreas

Os primeiros produtos de sensores empregados no Brasil foram as fotografias aéreas (Figura 4). Após o trabalho da USAF, vários outros voos, por iniciativas diversas e com propósitos diversos, foram realizados em várias regiões brasileiras.



**Figura 4.** Par estereoscópico de fotografias aéreas publicadas na escala 1:30.000, com área de recobrimento lateral destacada com hachuras na cor vermelha. Área do Vale do Rio Jequitinhonha, estado de Minas Gerais (1987).

Fonte: Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015a).

O surgimento das fotografias aéreas promoveu uma reviravolta na cartografia dos solos brasileiros. No entanto, algumas dificuldades surgiram em seu manuseio. Tal fato criou, no Brasil, nas décadas de 1970 e 1980, a figura do foto-intérprete, profissional especialista em interpretar e medir feições em fotografias aéreas por meio de técnicas de aerofotogrametria e fotointerpretação. Com uso de aparelhos específicos denominados “estereoscópios” (de bolso ou de espelho), esses profissionais, utilizando duas fotos tomadas lado a lado, com sobreposição parcial do mesmo alvo (par estereoscópico), conseguiam uma visão tridimensional das paisagens (alvos ou faixas que foram recobertas), ou seja, realçavam o relevo e mesmo a altura da vegetação sobre a superfície dos terrenos.

Podem ser assim sintetizadas as características das fotografias aéreas convencionais (IBGE, 2015a):

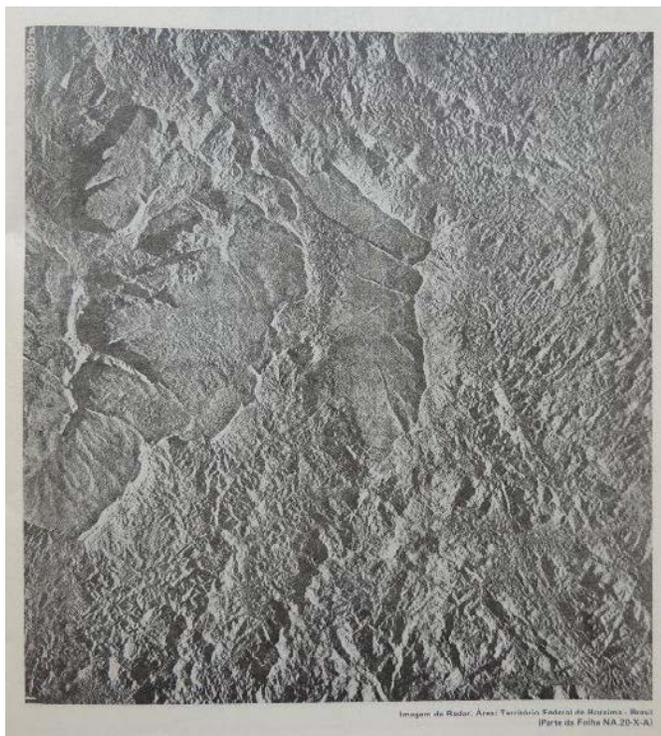
- São ótimas para mapeamento de solos, pois realçam bem o relevo e quando coloridas, realçam também a vegetação e o grau de umidade dos solos.
- Requerem sempre o manuseio de muitas fotos, pois cada foto tem sempre pequena dimensão (23 cm x 23 cm).
- São mais adequadas para levantamentos detalhados e intermediários.

- Sofrem interferência de nuvens.
- Os custos de produção (obtenção) são relativamente elevados.

#### Imagens de radar

As imagens de radar são tomadas por aeronaves e com uso de sensores que atuam em comprimentos de onda não sensíveis à presença de nuvens (não sofrem interferência destas).

Surgiram no Brasil no início da década 1970 e foram o produto de sensor utilizado pelo Projeto RADAM/RADAMBRASIL para o levantamento de Recursos Naturais de todo o território nacional. Há recobrimento de todo o território brasileiro na escala 1:250.000. A seguir, são mostrados exemplos nas Figuras 5 e 6.



**Figura 5.** Imagem de Radar - recorte da Folha NA.20-X-A. Estado de Roraima.

Fonte: Acervo Técnico IBGE.



**Figura 6.** Imagem de Radar (recorte). Região de Ilha Bela (litoral paulista).

Fonte: Acervo Técnico IBGE.

Vantagens das imagens de radar (IBGE, 2015a):

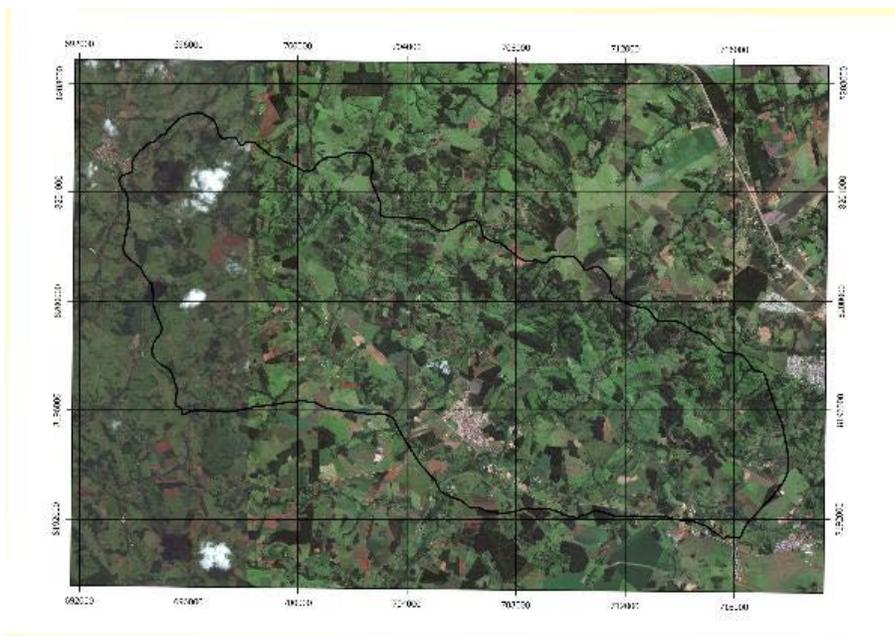
- Possibilitam uma visão de continuidade aos ambientes (*overview* da área estudada) – cada quadrícula abrange aproximadamente 17.000 km<sup>2</sup>, diferentemente das fotos aéreas que têm o tamanho padrão de 23 cm x 23 cm, sendo que cada uma contempla cerca de 3.330 km<sup>2</sup> na escala de 1:250.000.
- A visada lateral realça sobremaneira os aspectos de relevo, por meio da formação dos pontos ou trechos “negros”, semelhantes a um sombreamento para situações ou terrenos com significativas diferenças de cotas altimétricas.
- Não sofrem a interferência de nuvens.
- São muito boas para mapeamento de solos, sobretudo em áreas de boa drenagem e com bom contraste de relevo.
- São de fácil manuseio.

Desvantagens (IBGE, 2015a):

- Foram tomadas apenas na escala 1:250.000, não possibilitando trabalhos em escalas mais detalhadas.
- Diferentemente das imagens orbitais a seguir descritas, não oferecem possibilidade de revisita (retomada da mesma cena em épocas distintas).

Imagens Orbitais

São imagens tomadas por meio de satélites artificiais que orbitam o globo terrestre, a exemplo da Figura 7.



**Figura 7.** Imagem de satélite copiada do Google Earth em 19/03/2019. Região das cabeceiras do Rio João Leite, estado de Goiás.

Vantagens das imagens orbitais (IBGE, 2015a):

- Possibilitam uma visão de continuidade aos ambientes, assim como as imagens de radar.
- São de aquisição fácil e de relativamente baixo custo, com exceção dos produtos de alguns programas espaciais que trabalham com fins comerciais.
- Muitos programas, como o Landsat, trabalham em várias bandas espectrais (distintos comprimentos de onda), o que possibilita a seleção das bandas mais favoráveis a cada situação.
- Apresentam grande variação em sua resolução espacial, o que faz com que possam ser empregadas em praticamente todos os níveis de levantamentos.

Desvantagens (IBGE, 2015a):

- Não realçam convenientemente os aspectos de relevo, exceto quando recebem tratamento específico.
- Sofrem interferência de nuvens.
- Quando sem tratamento para realçar a topografia (ortorretificação), são mais adequadas para uso em mapeamento de solos em locais de ambientes com drenagem natural distinta ou áreas aplainadas.

Seleção de produtos de sensores remotos mais adequados

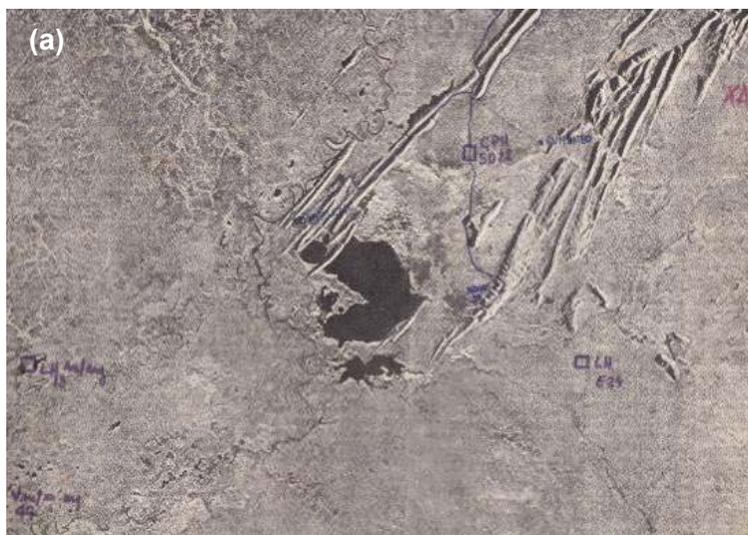
O Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015a) traz informações a este respeito em sua parte III, item 3.1.3.2. Também nesse item, traz informações sobre os principais programas espaciais em atuação e os principais sensores de alta resolução disponíveis no mercado.

No caso da execução de mapeamentos de solos generalizados, ou seja, não detalhados, duas principais opções estão disponíveis no Brasil: (a) as antigas e muito eficientes imagens de radar, as quais, como já comentado, se prestam apenas a mapeamentos em escalas 1:250.000 ou menos

detalhados; e (b) as imagens orbitais diversas. Dependendo das características da região objeto do trabalho, algumas podem ser mais adequadas que outras. Em muitas circunstâncias, podem-se utilizar as duas opções de forma complementar, extraindo-se de cada uma o que ela melhor oferece e, em outras situações, o mesmo trabalho pode priorizar um ou outro tipo de sensor em determinados locais, como é o caso de áreas de topografia movimentada em que o uso de imagens de radar é mais eficiente, enquanto, em áreas baixas e/ou planas, as imagens de satélite são as melhores alternativas.

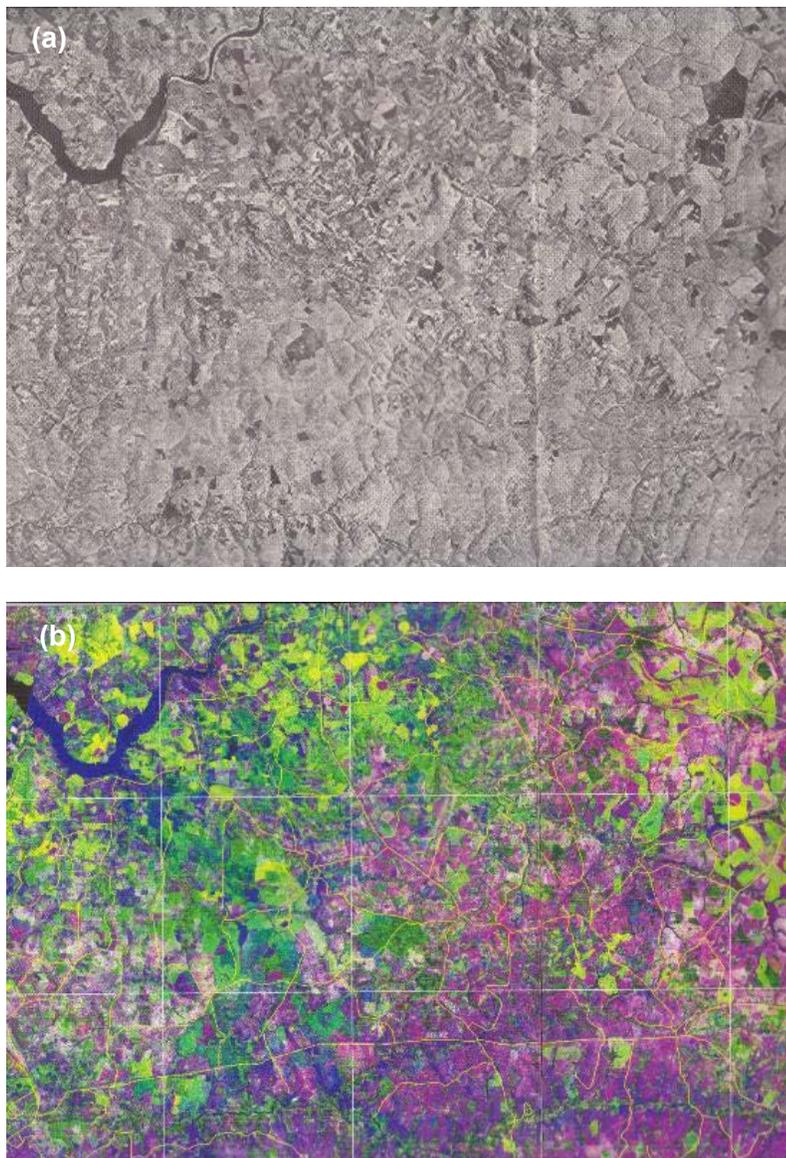
A Figura 8 mostra diferenças nos retornos visuais (reflexões) entre as imagens de radar (Figura 8a) e do satélite Landsat (Figura 8b), para situações de área úmida e área de boa drenagem. Observa-se que, na imagem de satélite (Figura 8b), a área alagada é mostrada com maior realce, enquanto a área serrana é mais bem mostrada na imagem de radar (Figura 8a). Também, na imagem de satélite, a cobertura vegetal do terreno é mostrada com mais riqueza de detalhes, possibilitando a sua separação com muito mais precisão. Para mapeamentos de solos em regiões baixas e úmidas, como é o caso da Figura 8, que se situa no bordo NE do Pantanal Matogrossense, a imagem de satélite (Figura 8b) funciona melhor, pois possibilita uma melhor separação entre áreas mais úmidas daquelas menos úmidas, sendo que o desenho dos delineamentos dos solos também é auxiliado pela cobertura vegetal, depois de estabelecida, em campo, a relação dos solos com as tipologias vegetais.

A imagem de satélite também realça melhor algumas características dos solos em relação às imagens de radar, como a natureza dos solos associada a rochas do derrame basáltico (solos mais argilosos e com maiores teores de ferro) e, indiretamente, ajuda na separação de solos com base no uso agrícola, que é mais realçado nas imagens de satélite. Nestas, como a da Figura 9 (b), a cor azulada e roxa, e a da Figura 10, a cor roxa ao longo dos rios, estão associadas aos solos derivados de basalto.



**Figura 8.** Região norte do Pantanal Matogrossense (Barão de Melgaço, MT). (a) Imagem de radar; (b) imagem de satélite Landsat TM, composição colorida.

Fonte: Acervo Técnico IBGE.



**Figura 9.** Região próxima à usina hidrelétrica de Cachoeira Dourada (Rio Paranaíba), divisa GO/MG. (a) imagem de radar e (b) imagem de satélite CBERS (2007).



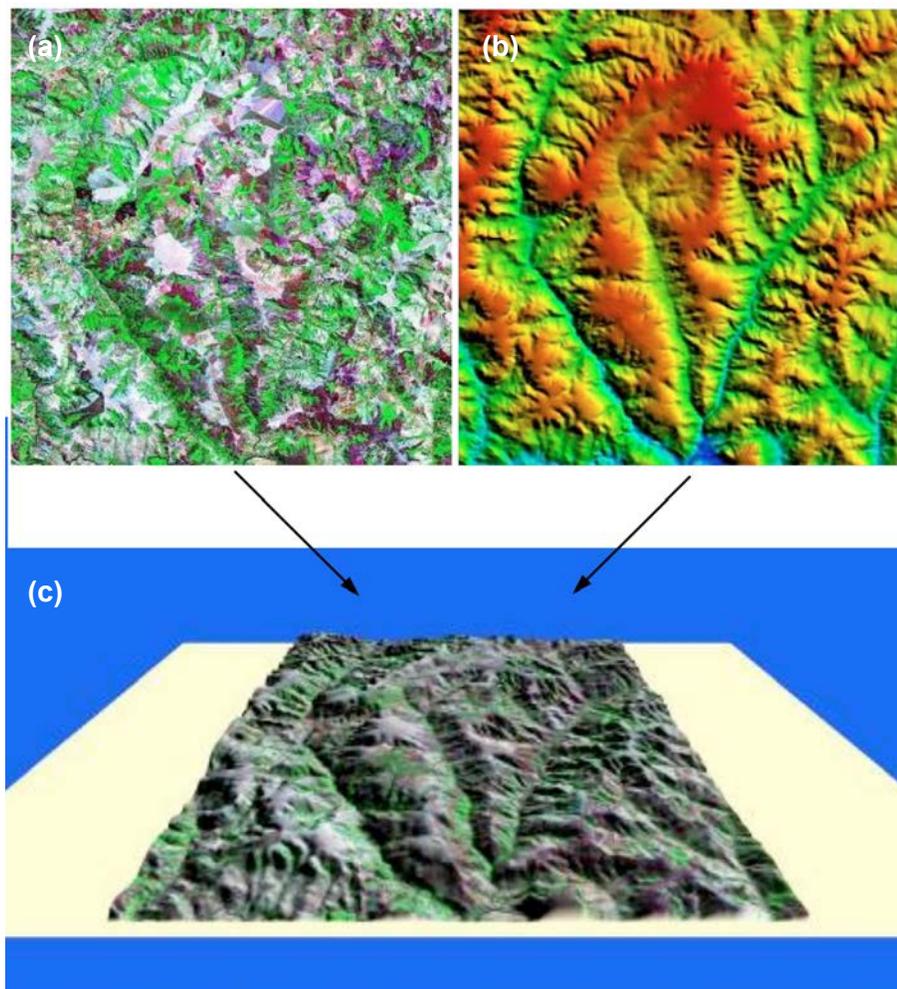
**Figura 10.** Região próxima à Campo Grande, MS. Imagem de satélite CBERS (2007). Solos originados de basalto refletem a cor roxa.

Em síntese, tratando-se da execução de trabalhos generalizados, é interessante usar os dois sensores, explorando o que cada um pode fornecer de melhor, observando-se que, para todo o território brasileiro, as imagens de radar não estão disponíveis em escalas distintas de 1:250.000.

Nos levantamentos intermediários e detalhados, que são os níveis que realmente serão demandados no Brasil doravante, pelo fato da dificuldade de obtenção de novas fotografias aéreas adequadas às diversas situações, quer pela operacionalização, quer pelos custos, as imagens de satélite (orbitais) são quase sempre as melhores alternativas. Elas permitem o emprego de técnicas de geoprocessamento para “tratá-las” e, assim, realçar a questão da 3ª dimensão, que é uma de suas desvantagens em relação aos demais sensores.

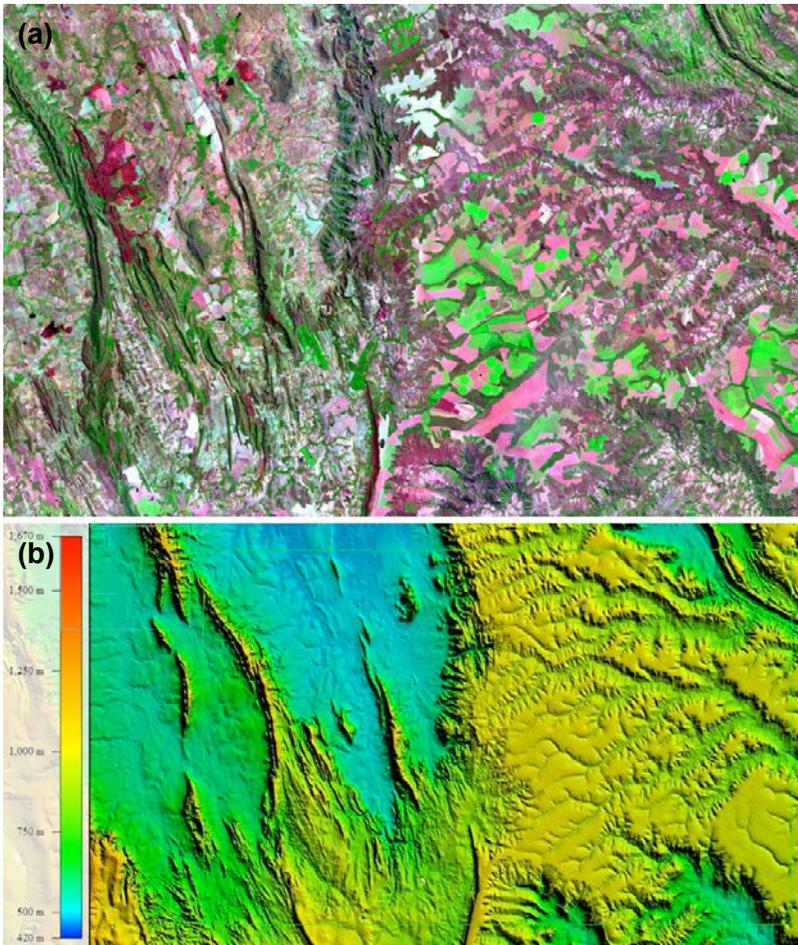
Os recursos e técnicas de geoprocessamento existentes permitem “trabalhar” as imagens de satélite de forma que se consiga realçar a questão topográfica, conforme ilustra a Figura 11. Nessa figura, as informações da imagem de satélite (acima à esquerda) são mescladas com as informações do Modelo Digital de Elevação (MDE) (acima à direita) para criar uma terceira ferramenta ou imagem (abaixo centro), que realça os aspectos do relevo diretamente na imagem de satélite.

Para tanto, são necessárias a obtenção das imagens de satélite e de uma carta hipsométrica, que pode ser extraída da base cartográfica ou elaborada por levantamentos topográficos especificamente adquiridos para o trabalho, ou mesmo utilizar a altimetria fornecida no programa *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, desde que todas estejam na mesma escala e georreferenciadas.



**Figura 11.** Realce de relevo (c) na imagem de satélite (a) CBERS (2007) com auxílio de Modelo Digital de Elevação (b) de região próxima ao município de Abadiânia, estado de Goiás.

Pode-se, também, trabalhar com os Modelos Digitais de Terreno (MDTs) ou os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) separadamente a fim de orientar ou auxiliar a fotointerpretação/interpretação. Também se encontram no mercado, para aquisição, imagens já trabalhadas, comercializadas como “ortorretificadas” (Figuras 12a e 13) e que já apresentam realce de relevo sobre a imagem (Figura 12b), obtido com base em trabalho prévio de associação das informações supramencionadas.



**Figura 12.** Imagem de satélite ortorretificada de 2007 (a) e seu MDE (b) de região próxima à cidade de Formosa, estado de Goiás.



**Figura 13.** Recorte da Imagem do satélite Landsat 8 ortoretificada, folha SF. 23 YD (2015). Região de Ilha Bela, litoral paulista).

Por fim, é importante esclarecer que, por suas características de mapeamento indireto de seu alvo, as melhores imagens para mapeamentos de solos não são necessariamente as de maior resolução, ou as mais atuais ou mais modernas, ou as melhores para alvos de superfície, como, por exemplo, o uso da terra ou mesmo edificações. Melhores são as imagens que conseguem captar as características do terreno que tenham uma ligação direta com pelo menos alguns tipos de solos ocorrentes na área de estudo, para que se consiga, nos trabalhos de campo, estabelecer essas “relações” e, a partir delas, definir ou delimitar os alvos, ou pelo menos delimitar alguns deles. Logo, bons sensores são aqueles que fornecem um retorno adequado de feições de relevo, de vegetação natural e de diferenças da umidade dos terrenos.

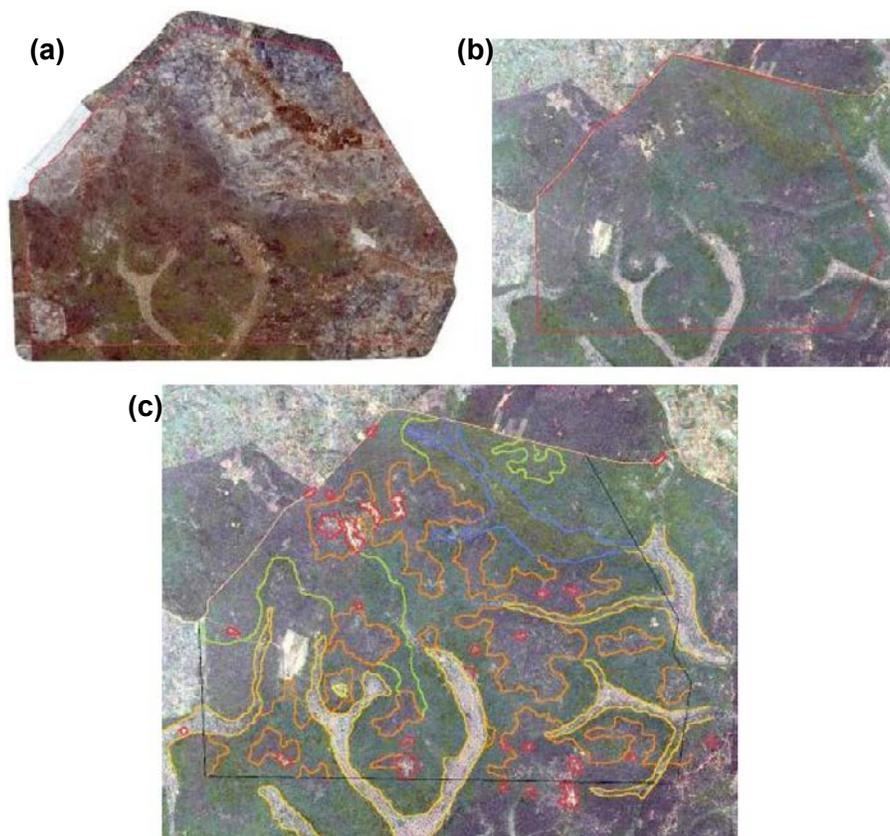
É pensamento comum, mas nem sempre verdadeiro, que se deve sempre buscar as imagens mais atuais, dos satélites mais poderosos (dos tipos que conseguem identificar ou ler até mesmo placas de automóveis), supondo-se que eles irão fornecer as melhores informações para embasar os mapeamentos de solos. No entanto, não funciona assim. Tudo

depende da área objeto do estudo, de suas características, de seus solos ocorrentes, de seu arranjo na paisagem, de sua formação e, principalmente, da gênese da paisagem em que está inserida.

Muitas vezes, na execução de um mapeamento em campo, percebe-se que um sensor mais antigo, que ainda mostra características da superfície natural do terreno, responde muito melhor a diversas ocorrências de solos de dada área que um sensor moderno, de alta resolução, mas que, em lugar de ajudar, fornece tantos detalhes que eles acabam mascarando a realidade das verdadeiras ocorrências. A única forma de se descobrir isso é por meio dos trabalhos de campo.

A Figura 14 evidencia esta situação de forma clara. A imagem da Figura 14b foi tomada por determinado programa espacial em 2008 e, portanto, com a área de interesse ainda quase toda recoberta pela vegetação natural. Isso possibilitou a delimitação dos principais solos, pois permitiu captar, de forma satisfatória, a vegetação e sua variação em função das características dos solos, o que foi fator decisivo para a delimitação das unidades e elaboração do mapa de solo. A imagem mostrada na Figura 14a foi tomada por outro programa espacial no ano de 2017. Além de operar em outra faixa espectral em relação à da Figura 14b, captou de forma muito acentuada as marcas de uso intensivo do solo em algumas porções da área, claramente mascarando as reflexões ligadas aos diferentes tipos de solos.

A interpretação da imagem mostrada na figura 14c foi elaborada sobre a imagem de 2008 (Figura 14b), após confirmação da ocorrência dos solos por meio de trabalhos de campo.



**Figura 14.** Imagens de satélite da região do CTM Project Grain Production, na província de Masindi em Uganda (África), provenientes de programas espaciais distintos, ambas de alta resolução e tomadas em épocas distintas: (a) tomada em novembro de 2008 e; (b) tomada em janeiro de 2017; (c) interpretação para mapeamento de solos após checagem de campo.

### Escala de mapas ou cartas e produtos de sensores orbitais

O Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015a) traz informações sobre escala de mapas e de cartas de solos em seu item 3.1.1.2. A definição de uma escala para elaborar um mapa de solo passa, primeiramente, pela finalidade do levantamento, que estabelece a menor área que precisa ser mapeada e representada no mapa (área mínima mapeável) e, a partir dessa informação, define-se a escala a ser adotada, de acordo com as informações da Tabela 2.

Se, por exemplo, for necessário elaborar um mapa de solos que possa subsidiar determinado projeto que necessite conhecer o terreno com detalhes em parcelas de 20 m x 20 m (0,04ha), pela Tabela 2 obtém-se que a escala do mapa que se ajusta e atende a esta demanda (levantamento ultradetalhado) é ligeiramente inferior a 1:2.000.

Como mapas, sensores e cartas são documentos que permitem uma visão reduzida de grandes áreas, usa-se o artifício da escala para passar informações de dimensão. Trata-se de expressar a relação entre a medida de uma porção territorial representada em mapa e seu tamanho real na superfície terrestre.

Mapas gerados em escalas diferentes têm também conteúdos diferentes. Ressalta-se que não é só uma relação de tamanho (Figura 15).

A carta planialtimétrica da Figura 15a, elaborada em maior detalhe, possibilita a identificação de ruas, avenidas e a curvatura da rodovia, enquanto, na carta mais generalizada da Figura 15b, a cidade é representada apenas por um ponto, sendo que a rodovia aparece retilinizada.

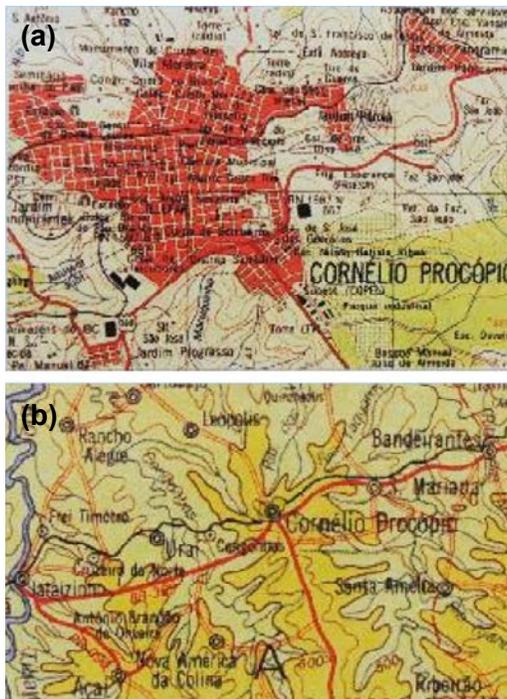
Pode-se observar então que transformar um mapa ou carta elaborado(a) inicialmente em escala de pequeno detalhe em um(a) mais detalhado(a), só é possível se for realizado outro trabalho de mapeamento, com sensores de maior detalhe e novos trabalhos de campo para identificação correta das ruas e avenidas.

Ressalta-se também que o processo simples de ampliação de parte de um mapa ou carta permitirá apenas visualizá-lo(a) em um tamanho maior (Figura 16a,b). Empregando-se imagens de sensores remotos de grande resolução, a parte puramente cartográfica, física, poderá ser melhorada sem novos trabalhos de campo, como é o caso do traçado e dimensão de ruas, mas não será possível a sua identificação qualitativa, como saber o nome de novas ruas ou novos trechos, a qualidade dos pisos utilizados (asfalto, cimento, cascalho, etc.), sem novos trabalhos de campo.

**Tabela 2.** Nível de detalhamento do mapa de solos, escala e área mínima mapeável (AMM).

Nível de levantamento	Escala usual	Distância no terreno em km, para cada 1 cm no mapa	Área mínima mapeável	
			ha	km <sup>2</sup>
Ultradetalhado	1:500	0,005	0,001	0,00001
	1:1.000	0,01	0,004	0,00004
	1:2.000	0,02	0,016	0,00016
	1:5.000	0,05	0,10	0,0010
Detalhado	1:7.000	0,07	0,19	0,0019
	1:8.000	0,08	0,25	0,0025
	1:10.000	0,10	0,40	0,004
	1:15.000	0,15	0,90	0,009
	1:20.000	0,20	1,60	0,016
Semidetalhado	1:25.000	0,25	2,50	0,025
	1:30.000	0,30	3,60	0,036
	1:50.000	0,50	10	0,10
Reconhecimento de alta intensidade	1:60.000	0,60	14,4	0,14
	1:75.000	0,75	22,5	0,22
	1:100.000	1	40	0,4
Reconhecimento de média intensidade	1:150.000	1,5	90	0,9
	1:200.000	2,0	160	1,6
	1:250.000	2,5	250	2,5
Reconhecimento de baixa intensidade	1:300.000	3	360	3,6
	1:500.000	5	1.000	10
Exploratório	1:750.000	7,5	2.250	22,5
	1:1.000.000	10	4.000	40
	1:2.500.000	25	25.000	250
Esquemático	1:5.000.000	50	100.000	1.000
	1:10.000.000	100	400.000	4.000
	1:15.000.000	150	900.000	9.000

Fonte: Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015a).

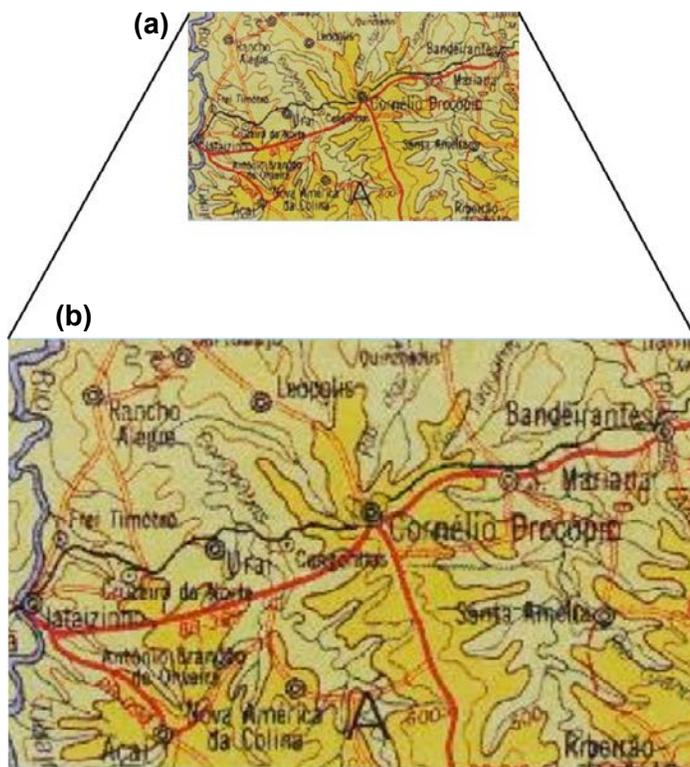


**Figura 15.** Carta planialtimétrica em detalhe, escala 1: 50.000 (a) e generalizada, escala 1: 1.000.000 (b), da região de Cornélio Procópio, estado do Paraná.

Transportando a questão acima para um mapa de solo, o ato de promover a sua simples ampliação ou de melhorá-lo com uso de sensores de alta resolução e programas computacionais, não trará o aumento dos conhecimentos e informações sobre os solos de determinado local, necessários para a harmonização das informações que devem constituir um bom e preciso mapa de solos. Se o mapa é de solos, a sua melhoria não deve se limitar à sua cartografia, mas também, e principalmente, na expansão do conhecimento sobre os solos, que é o objetivo maior do mapa. Isso só pode ser obtido por meio do aumento da densidade de observações e da amostragem, somente obtidas com trabalhos de campo.

O que se tem feito com Mapeamentos Digitais de Solos (MDS), realizados sem novos trabalhos de campo, é promover melhorias na vertente cartográfica dos mapas, sendo que as informações sobre os solos permanecem limitadas pela escala original do trabalho.

Algumas técnicas costumam promover a dissociação ou desagregação de algumas unidades de mapeamento, do tipo associação de solos, dos mapas mais antigos com base em sua legenda original, que geralmente associam alguns solos componentes aos tipos de relevo e ao tipo de vegetação natural.



**Figura 16.** Recorte da carta planialtimétrica da região de Cornélio Procópio, estado do Paraná, publicada na escala original 1:100.000 (a). Sua simples ampliação (b) não possibilita maior detalhamento da informação.

Considerando a grande utilização de extrapolação de informações, com base em semelhança de padrões de sensores (padrões de imagem), para a construção de mapas de solo em níveis generalizados, é possível que a atividade referida acima para elaborar alguns Mapas Digitais de Solos agregue mais erros à informação original do mapa em lugar de acertos, pelas seguintes razões:

1) A extrapolação de informações já extrapoladas tem grande probabilidade de acontecer, havendo, portanto, uma possibilidade potencial de multiplicar os erros já embutidos nas extrapolações originais. Sem dúvida, consegue-se um melhoramento de alguns aspectos cartográficos do mapa original, mas é quase certo que se piora a qualidade no tocante à informação pedológica.

2) Os mapas generalizados trabalham com níveis categóricos elevados no que se refere à taxonomia dos solos, e estes requerem menor caracterização que os níveis taxonômicos mais inferiores. Portanto, os mapas generalizados não dispõem das informações pedológicas necessárias para a elaboração de mapas mais detalhados.

3) O nível de detalhamento dos produtos de sensores (imagens e fotografias) e a intensidade dos trabalhos de campo em levantamentos generalizados não contemplam os solos que ocorrem em pequenas áreas, em razão da limitação da escala original e que só poderão ser identificados em trabalhos de maior detalhe, que utilizam trabalhos de campo minuciosos.

4) Por fim, o simples detalhamento cartográfico de alguns ambientes, com o propósito de obter mapas mais detalhados, transforma um mapa originalmente equilibrado em um trabalho de menor qualidade no tocante à compatibilidade de informações, mais deficiente em conhecimentos relativos ao tema a que se propõe explorar.

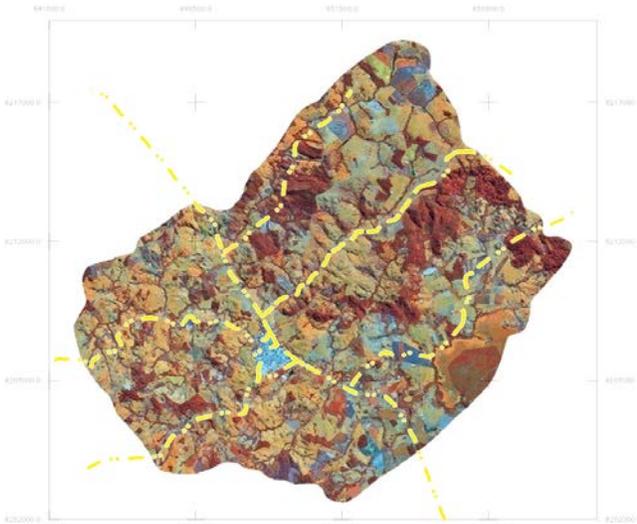
Faz-se necessário deixar claro que, no âmbito dos produtos de sensores remotos orbitais, uma especificação clássica empregada é a sua resolução espacial. Esta constitui em uma distância horizontal no terreno, mostrada em metros (imagens de baixa resolução) ou centímetros (imagens de alta resolução), que se trata do menor tamanho dos alvos passíveis de discernimento, captação ou alcance pelo sensor. Tal referência não tem relação direta com as escalas empregadas na construção dos mapas de solo. Sensores de alta resolução se prestam para elaborar mapas em várias escalas, desde os detalhados aos generalizados. Para tanto, devem ser trabalhados ou interpretados, observando a informação permitida pela escala. Sensores de baixa resolução somente se prestam para levantamentos não detalhados.

### **Fotointerpretação e interpretação de imagens**

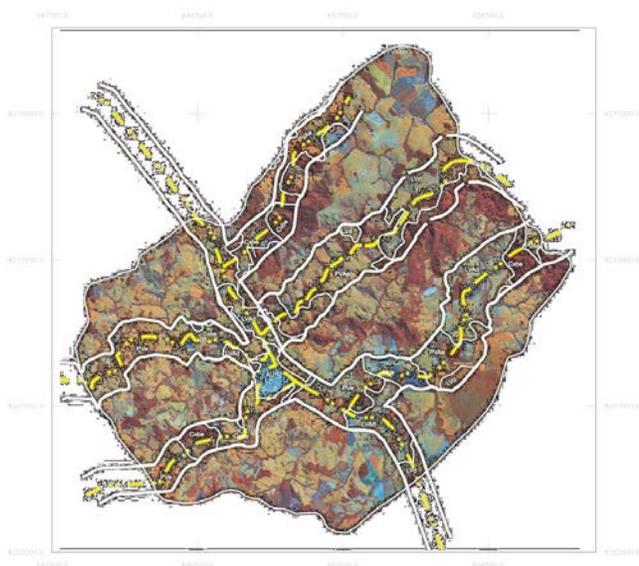
A fotointerpretação (fotografias) e a interpretação de imagens (satélite ou radar) são etapas de suma importância para a elaboração de um mapa de solos. São executadas diretamente sobre fotografias (fotointerpretação) ou

imagens (interpretação), considerando-se critérios técnicos, padrões observáveis, informações preexistentes e correlatas (geologia, geomorfologia, hipsometria, altimetria, declividade e vegetação). São, na realidade, operações que estabelecem o desenho precursor da distribuição espacial dos solos ou o denominado mapa de solos preliminar. Consistem na identificação, separação e delimitação dos possíveis pedoambientes (padrões de imagem) que constituirão as futuras Unidades de Mapeamento (UMs) do mapa definitivo de solos. Os padrões de imagem podem conter um ou mais solos dominantes a serem identificados por meio dos exames de campo. Além do mais, servem para orientar os trabalhos de investigação de campo e a definição de locais potenciais para a amostragem a ser realizada. Juntamente com a revisão bibliográfica da área de estudo, a fotointerpretação ou a interpretação de imagens de sensores constituem a etapa inicial de um trabalho de mapeamento de solos.

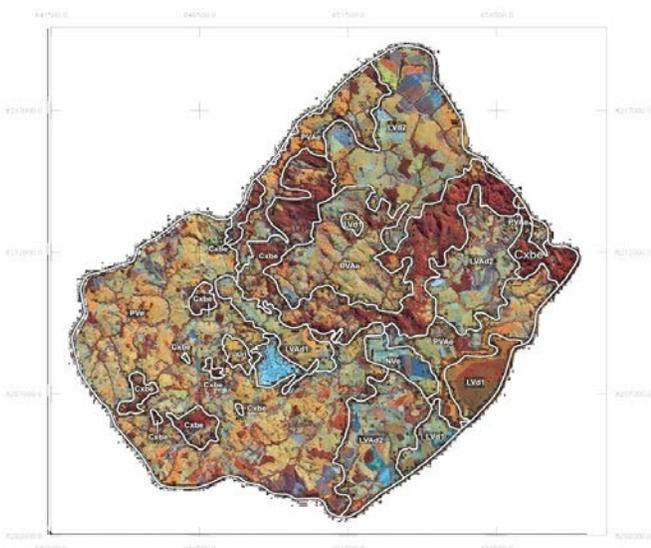
Tecnicamente, tem sua realização recomendada como etapa que antecede os trabalhos de campo. Eventualmente, em alguns trabalhos mais generalizados, onde não se dispõe de muitas alternativas de acesso e, por essa razão, os poucos acessos/caminhos existentes deverão obrigatoriamente ser objeto de visita, as interpretações de imagens podem ser elaboradas imediatamente após os trabalhos de campo, tomando-se estes como referência, conforme mostrado nas Figuras 17 a 19.



**Figura 17.** Recorte da imagem de satélite de uma área a ser mapeada contendo unicamente as estradas plotadas (em amarelo) no escritório.



**Figura 18.** Imagem de satélite da área da Figura 17 contendo a interpretação (unidades de mapeamento) ao longo das estradas, delimitadas em escritório, baseando-se, sobretudo, nos trabalhos de campo (linhas brancas finas).



**Figura 19.** Imagem de satélite de áreas das Figuras 17 e 18 com a interpretação completa (unidades de mapeamento) estendida para além dos entornos das estradas, por meio de sua interpretação (linhas brancas).

Fonte: acervo técnico IBGE.

As operações de fotointerpretação e interpretação de imagens de sensores orbitais respeitam normas e procedimentos definidos por metodologias científicas bem consagradas (Moreira, 2003; Lillesand et al., 2015). Porém, encerram em si uma considerável cota de subjetividade, tanto as interpretações pessoais quanto as automatizadas, uma vez que estas últimas também seguem critérios previamente definidos pelos executores.

Devido à subjetividade, na etapa de fotointerpretação/interpretação para geração de mapas de solos de determinada área ou região, raramente haverá coincidência total de contorno de linhas de polígonos em procedimentos realizados por intérpretes diferentes, ou mesmo, em mais de uma interpretação realizada pelo mesmo indivíduo em períodos diferentes. Esse fato é mais notório em levantamentos de solos de grandes áreas, geralmente de caráter mais generalizado.

Levantamentos mais detalhados, geralmente realizados em áreas pequenas, tendem a apresentar maior coincidência dos limites traçados quando diferentes fotointérpretes e intérpretes de imagens executam o trabalho. Isso ocorre em função de esses estudos apresentarem limites (UMs) mais dependentes ou mais determinados, ou checados pelos trabalhos de campo, em detrimento das técnicas de fotointerpretação/interpretação empregadas para delimitá-los, além de utilizarem produtos de sensores de maior detalhamento.

Portanto, uma fotointerpretação ou interpretação de imagens de sensores para fins de mapeamento de solos depende de muitos fatores, a saber:

- Experiência pessoal de campo e perspicácia do fotointérprete/intérprete de imagens para delimitar os pedoambientes e estabelecer as melhores relações solos/componentes ambientais cartografáveis, uma vez que os solos não são fotografados em seu perfil vertical, sendo “mapeados” indiretamente com o apoio de suas relações com outros componentes ambientais e da reflexão de algumas de suas características principais, como textura e teores de umidade e de ferro.
- Escolha correta das imagens no que concerne ao nível de detalhamento e às faixas espectrais em que foram geradas, considerando os fatores ambientais mais detectáveis.

- Subjetividade do autor. Em levantamentos generalizados, ela é mais expressa, dependendo da tendência do autor de: a) agrupar mais ou menos os solos; b) agrupar solos de naturezas diferentes. A seguir, são mostrados exemplos de interpretações distintas (Figuras 20 e 21).



**Figura 20.** Imagem de satélite de uma área a ser mapeada com um critério de interpretação preliminar menos detalhado em comparação ao critério utilizado na Figura 21.

Fonte: acervo técnico IBGE.



**Figura 21.** Imagem de satélite de uma área a ser mapeada com critério de interpretação preliminar mais detalhado em comparação com o critério usado na Figura 20.

Fonte: acervo técnico IBGE.

Na Figura 20, o autor optou por separar uma paisagem envolvendo tanto os interflúvios mais amplos como os vales (polígono X), enquanto, na Figura 21, o autor optou por separar os vales dos interflúvios e criou para estes duas unidades (polígonos Z e X).

Em síntese, o desenho dos mapas de solos pode ser apresentado de várias maneiras ou formatos: alguns com linhas um tanto mais retilíneas, outros mais curvilíneas, alguns mais detalhados e outros menos; porém, o mais

importante é que haja uma correspondência (“fidelidade”) entre as informações contidas no mapa e o desenho que foi elaborado por ocasião da interpretação/fotointerpretação. Tal “fidelidade” é estabelecida com as informações levantadas durante os trabalhos de campo, quando então se ajustam melhor os limites dos polígonos previamente traçados, podendo-se incluir, eliminar ou ajustar esses limites/polígonos.

A qualidade de uma fotointerpretação ou interpretação de imagem preliminar é verificada principalmente no decorrer dos trabalhos de campo, quando os limites traçados no mapa preliminar de solos são checados. A melhor interpretação preliminar será aquela que exigir menor trabalho de reparação dos polígonos previamente traçados com os trabalhos de campo, ou seja, quando a interpretação preliminar estiver mais próxima da final.

A qualidade de um mapa de solos pode ser avaliada primeiramente por:

- a) Critérios estéticos - quando as linhas traçadas e o tamanho dos polígonos estão compatíveis com a escala de apresentação do mapa. Não é pertinente que mapas muito generalizados ( $< 1:500.000$ ) sejam elaborados com linhas excessivamente curvilíneas ou polígonos muito pequenos, afinal é um mapa de caráter regional. O delineamento dos polígonos deve estar comandado pelo detalhamento visual fornecido nos produtos de sensores (fotografias aéreas ou imagens de sensores) empregados na escala de apresentação do mapa. Por sua vez, mapas detalhados devem representar com fidelidade as ocorrências e os contornos naturais dos elementos, e estes, geralmente, salvo raríssimas exceções, não são retilíneos na natureza. Podem ocorrer polígonos de tamanhos diversos, dependendo da natureza da região. Há que se observar a área mínima mapeável ( $0,4 \text{ cm}^2$  ou  $0,6 \text{ cm} \times 0,6 \text{ cm}$ ) para todos os mapas (detalhados ou generalizados), que corresponde a menor porção dos terrenos que se deve representar nos mapas.
- b) Critérios de compatibilidade entre nível cartográfico *versus* nível de detalhamento das informações, que pode ser medido por:
  - 1) Nível cartográfico (escala) *versus* nível categórico do sistema taxonômico de classificação de solos empregado: os levantamentos de maior detalhe devem trabalhar com os níveis categóricos inferiores dos sistemas taxonômicos; no caso do SiBCS,

o 4º e o 5º níveis categóricos. Esses níveis, em sua maioria, apresentam grande variabilidade espacial e são, também em sua maioria, definidos em laboratório, ou seja, são mais dependentes de caracterização analítica. Para a sua consecução, é necessário grande intensidade de trabalhos de campo e alta intensidade de amostragem.

- 2) Nível cartográfico (escala) *versus* quantidade de amostragem e observações: como já mencionado anteriormente, os trabalhos de maior detalhe exigem maior densidade de amostragem e maior quantitativo de trabalhos de campo (número de observações), necessários para detectar a variabilidade das características dos solos.
- 3) Nível cartográfico (escala) *versus* quantidade e forma de associações constantes nas UMs: por razões óbvias, os mapas mais generalizados, que abrangem grandes extensões territoriais, têm suas UMs representando ambientes naturais e predominantemente constituídas por associações de solos e, geralmente, contemplam apenas os principais solos do ambiente, pois, em razão das limitações da escala generalizada, muitas classes de solos (não principais) não alcançam a representatividade cartográfica necessária e, muitas vezes, sequer são identificadas e relacionadas como inclusão dentro das UMs. Por sua vez, os trabalhos de maior detalhe devem ter a maior parte de suas UMs constituídas por classes individuais de solos, exceto em caso de áreas cujos solos apresentam arranjo espacial muito complexo, fato bastante comum em ambientes de formação cristalina na região semiárida do Nordeste brasileiro.

#### Procedimentos básicos para fotointerpretação e interpretação de imagens

São os seguintes procedimentos básicos que devem ser considerados na etapa de fotointerpretação de fotografias aéreas e interpretação de imagens de satélite ou radar:

- 1) Caso o trabalho não utilize fotografias aéreas (fotointerpretação), selecionar as imagens mais adequadas a cada situação (à natureza de cada área).

- 2) Proceder ao seu georreferenciamento (principalmente no caso de imagens orbitais).
- 3) Proceder à delimitação da área de interesse sobre a imagem do sensor remoto selecionado.
- 4) Caso se trabalhe com material impresso, proceder à sua impressão e providenciar o “*overlay*” (papel transparente) que deverá ser alocado sobre a imagem impressa a fim de receber os traçados da interpretação preliminar, para posterior processamento sobre a base cartográfica definitiva após avaliação da qualidade da interpretação preliminar (o desenho em “*overlay*” evita rasuras na imagem).
- 5) Quando se trabalha com fotografias aéreas, a fotointerpretação individualizada, feita com auxílio de estereoscópio, deve também ser realizada sobre “*overlays*” e posteriormente transportada manualmente, ou em meio digital, para a base cartográfica georreferenciada.
- 6) Delimitar os principais padrões que se destacam na imagem, evitando, assim, uma interpretação preliminar de forma muito detalhada.
- 7) Consultar mapas de solos existentes e mapas de ciências correlatas (geologia, vegetação e geomorfologia principalmente) a fim de buscar algum auxílio durante o processo de interpretação das imagens.
- 8) Munir-se sempre do melhor sensor remoto, ou seja, aquele mais adequado à área ou região em apreço e, caso seja necessário e possível, trabalhar com mais de um tipo de imagem, conforme as suas características.

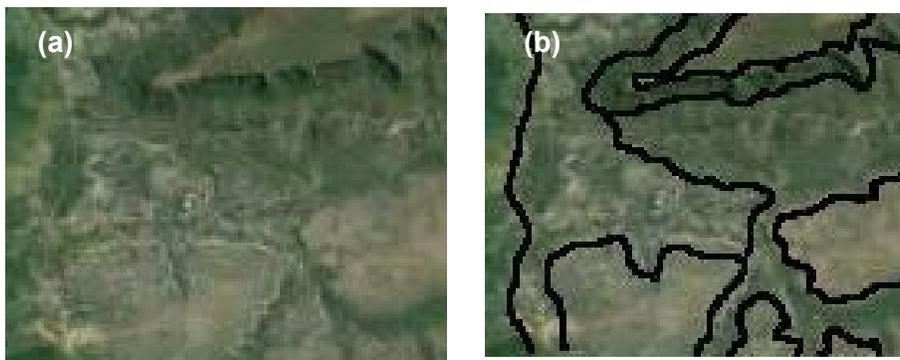
### Separação de padrões em fotos ou imagens

Os polígonos são delimitados com base nas informações contidas nas fotografias aéreas ou imagens de sensores utilizadas durante a etapa de fotointerpretação/interpretação, as quais devem ser trabalhadas na escala selecionada para o mapeamento, independentemente da resolução espacial das imagens. Em outras palavras, mesmo que se disponha de imagens de alta resolução, elas devem ser trabalhadas na escala em que foi selecionada para publicação do mapa de solos final, sob pena de

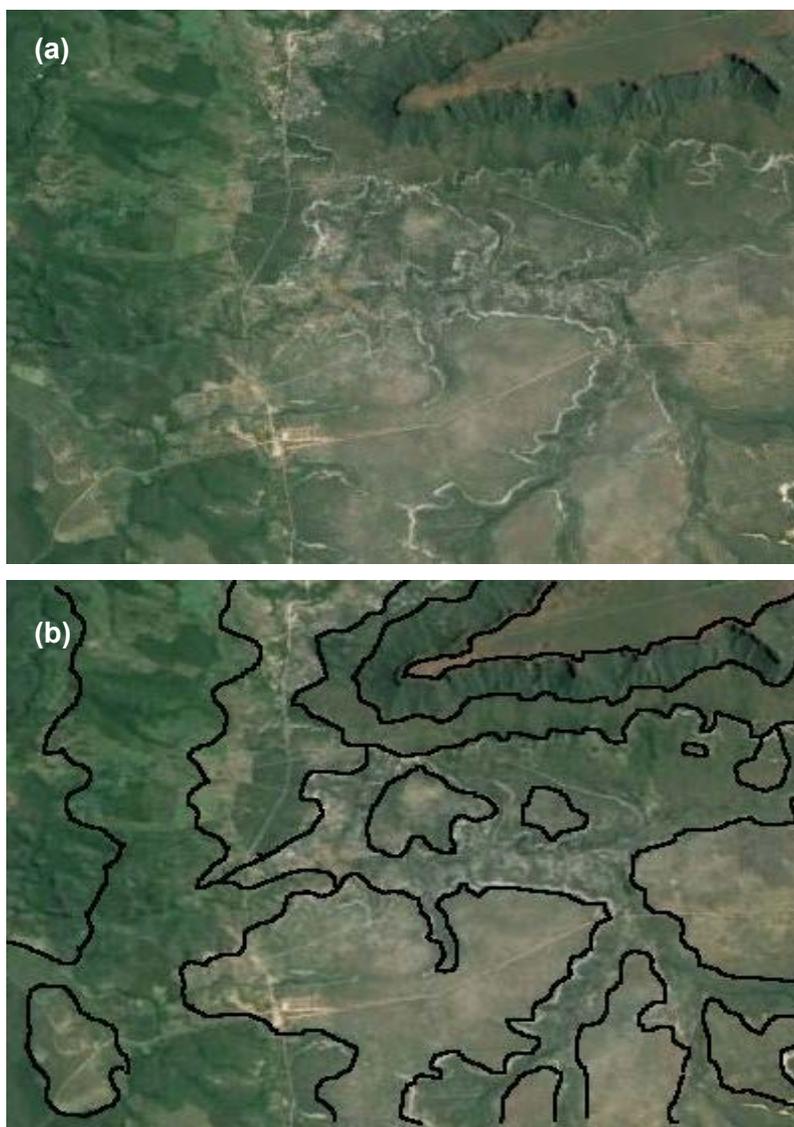
se ter uma quantidade excessiva de detalhes não compatíveis com o nível de detalhamento do mapa, prejudicando a qualidade do trabalho.

A vantagem de se trabalhar com imagens de sensores de alta resolução é que se pode utilizar esse recurso para aumentar localmente os detalhes (por meio de zoom), para se explorar melhor a identificação e os limites de determinados alvos.

Uma mesma área, quando mapeada em níveis de detalhamento distintos, terá os seus mapas de solos produzidos em diferentes escalas, apresentando diferentes “desenhos” entre si, cuja diferença é determinada pelos distintos detalhamentos cartográficos que podem ser obtidos nos produtos de sensores utilizados na interpretação, conforme se pode observar nas Figuras 22, 23 e 24. Trata-se de interpretações de imagem de diferentes escalas elaboradas para uma mesma área, mas para a elaboração de mapas de solos produzidos com níveis de detalhamento diferentes. Observa-se que imagens de maior escala possibilitam a identificação de maior número de manchas de solos por possibilitarem a visualização mais detalhada das variações ambientais da área (maior detalhamento cartográfico).



**Figura 22.** Seção de uma imagem impressa na escala 1:250.000: (a) imagem original; (b) imagem interpretada para diferenciar padrões de solos.



**Figura 23.** Seção de uma imagem impressa na escala 1:100.000: (a) imagem original; (b) imagem interpretada para diferenciar padrões de solos.

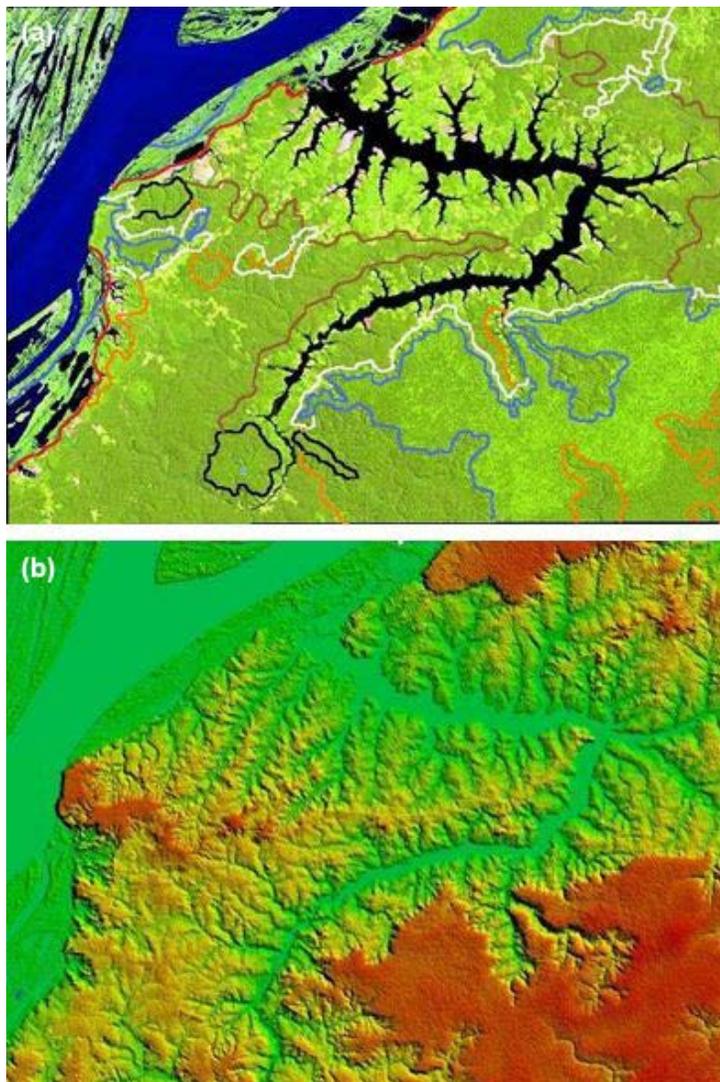


**Figura 24.** Seção de uma imagem impressa na escala 1:25.000: (a) imagem original; (b) imagem interpretada para diferenciar padrões de solos.

O maior tamanho dos polígonos em um mapa de solos não é preestabelecido, mas o menor tamanho é determinado por sua área mínima mapeável (AMM) e corresponde a 0,4 cm<sup>2</sup> no mapa para qualquer nível de detalhe do levantamento de solos.

São sugeridos os seguintes critérios a serem empregados para a separação de padrões em fotointerpretação ou interpretação de produtos de sensores para elaborar mapas de solo (o que separar?):

- 1) Primeiramente, distinguir e separar os grandes ambientes naturais existentes dentro dos limites da área a ser mapeada. Por exemplo, platôs, morros, colinas, planícies de inundação, vales, planaltos, planícies, etc.
- 2) Dentro de cada grande ambiente, separar, quando possível, ambientes menores com base nos fatores de formação dos solos (aqueles visíveis ou perceptíveis). Por exemplo, relevos (planos, ondulados, forte ondulados, montanhosos, etc.); vegetação natural (floresta, cerrado, campo, etc.); ambientes de drenagem restrita; geologia; sistemas de drenagem natural (principalmente densidade de drenagem).
- 3) Separar, ainda, padrões de imagens distintos por cor, tonalidade e textura ou outros aspectos visuais da imagem. Na Figura 25, consta um exemplo de separação de padrões em uma interpretação preliminar.
- 4) Identificar com uma marcação específica (mesmo número ou símbolo de identificação da provável classe de solo predominante) os diversos polígonos semelhantes (caso ocorram) para facilitar a sua caracterização posterior (Figura 26).



**Figura 25.** Seção de uma imagem impressa na escala 1:50.000: (a) imagem interpretada; (b) imagem com MDE. Região do lago Juruti, Amazonas. Legenda e ordem de execução da interpretação: 1º linha (vermelha) – grandes ambientes (planície do rio e terras altas – platôs); 2º linha (azul) – subambientes dentro das planícies do rio e platôs; 3ª linha (branca) – escarpas ou bordos dos platôs; 4ª linha (laranja) – áreas com densidades de drenagem distintas; 5ª linha (marrom) – área mais dissecada (relevo mais movimentado).



**Figura 26.** Seção de uma imagem de satélite interpretada, destacando os polígonos com padrões similares, os quais possivelmente correspondem à mesma unidade de mapeamento de solo.

## Vertente pedológica do mapeamento de solos

Essa etapa dos trabalhos de mapeamento de solos lida com a caracterização, identificação e enquadramento taxonômico dos solos (principais e secundários) encontrados na área de estudo, além de estabelecer a relação dos solos *versus* sua posição na paisagem e delimitar sua ocorrência nos diferentes ambientes.

### Procedimentos preliminares aos trabalhos de campo

Para mais detalhes relativos a esse tema, consultar o Guia Prático de Campo do IBGE (IBGE, 2015b) e o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015). A seguir, serão apresentados alguns dos procedimentos práticos dessa etapa.

## Materiais necessários ao mapeamento de solos

Dentre as etapas de mapeamento, destaca-se a preparação de material cartográfico básico como procedimento pré-campo (cópia de mapas de solos pré-existentes, mapa rodoviário para localização em campo, mapa planialtimétrico, imagem do sensor remoto contendo a interpretação preliminar de solos).

### Observações:

- a) Os produtos de sensores remotos devem ser georreferenciados e conter grade de coordenadas em espaçamento tal que possibilite a “navegação” em campo.
- b) O material a ser utilizado em campo pode estar disponível em formato impresso ou em meio digital, conforme a conveniência do pedólogo.
- c) Caso as vias de acesso à área não estejam muito visíveis no material cartográfico, elas devem ser realçadas.

Nessa etapa, deve-se, também, preparar as ferramentas (enxada, enxadão, picareta, enxadeco, pás reta e curva, faca pedológica, martelo pedológico, trados) e outros materiais, como carta de cores, livro do SiBCS, Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015), pisseta, água para consumo humano e para observações morfológicas, como textura e cor, ácido diluído, água oxigenada, máquina fotográfica, escala para fotografar o perfil de solo, fita métrica, GPS, sacos plásticos, etiquetas, etc.

## Planejamento dos trabalhos de campo

A definição dos transectos a serem percorridos em campo (ver item 3.2.6.7 do Manual Técnico de Pedologia; IBGE, 2015a) é uma importante atividade no planejamento dos trabalhos de mapeamento de solos.

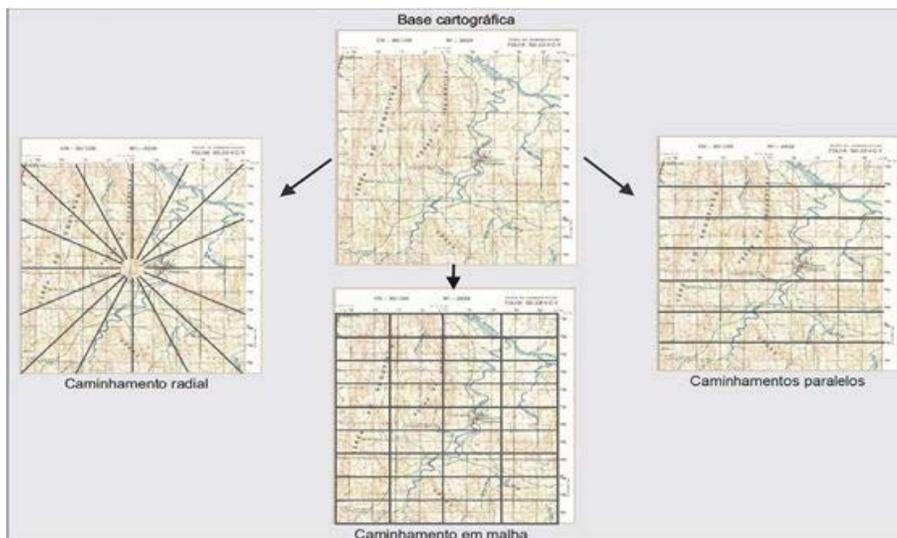
Os transectos devem ser escolhidos de forma a alcançar o máximo possível (se não todas) das variações dos padrões de imagens (pedoambientes) identificados e separados por ocasião da fotointerpretação/interpretação preliminar. No caso de mapeamentos generalizados ou em níveis intermediários de detalhe, nem sempre há a necessidade de percorrer todos os polígonos, sendo o mapeamento muitas vezes feito por extrapolação de informações para outros locais, com base em ambientes percorridos em campo que apresentam padrões similares na imagem interpretada.

Em tempos anteriores ao surgimento do sensoriamento remoto (anterior à década de 1960), quando não se dispunha de informações preliminares de disposição dos solos ou dos ambientes, os trabalhos de campo eram planejados por meio de transectos programados e simétricos plotados nas cartas planialtimétricas, que garantiam uma alta probabilidade de se alcançar todas as variações de interesse (Figura 27). Procedia-se ao mapeamento dos solos em toda a extensão dos transectos, registrando-se as variações de solos e de ambientes identificados ao longo do caminhamento, utilizando-se como referência para plotagem nas cartas a distância percorrida, o que, ao final do trabalho, possibilitava a extensão das informações para as laterais e a delimitação dos polígonos. Ressalta-se que, quando disponíveis, as cartas planialtimétricas são importantes materiais básicos na orientação das prospecções de campo e separação de ambientes, uma vez que a distribuição dos solos na paisagem geralmente guardam uma estreita relação com a posição na paisagem e o relevo. Este é representado pelas cotas altimétricas nas cartas. Assim como as imagens, as cartas planialtimétricas podem ser pré-tratadas, fazendo-se a separação dos ambientes em função do relevo, sendo o material resultante um importante orientador para os caminhamentos a serem feitos durante o mapeamento de solos em campo. Assim como as imagens, as cartas planialtimétricas devem conter outras informações essenciais à navegação e separação de ambientes, tais como rede de drenagem, estradas, cidades e nomes de vilarejos e fazendas.

Os mapeamentos utilizando sistema de malhas (rígidas ou flexíveis) foram muito empregados no passado para levantamentos detalhados, enquanto o caminhamento por meio de transectos paralelos foi empregado em muitos levantamentos para fins de assentamentos rurais, principalmente na região amazônica.

Atualmente, o sistema de malhas tem sido empregado apenas em levantamentos detalhados, seja em campos experimentais, seja em áreas particulares visando à elaboração de planos de manejo de fertilidade e de conservação de solos ou para planejamento e implantação de projetos de irrigação.

A agricultura de precisão, embora sem realizar o levantamento convencional dos solos, tem empregado o sistema de malhas rígidas para a coleta de solos e posterior definição das zonas de manejo e aplicação de insumos à taxa variável.



**Figura 27.** Disposição mais comum de transectos para orientar os trabalhos de campo (em cor preta), plotados em cartas planialtimétricas, quando não se dispunha de sensores remotos.

Fonte: IBGE (2015a).

Nos tempos atuais, com a disponibilidade dos mais diversos tipos de imagens de sensores remotos que possibilitam a visualização de toda a área de interesse, há a possibilidade de racionalizar as atividades de campo utilizando como transectos as estradas ou caminhos existentes, ou traçando novos caminhamentos de forma a possibilitar o alcance dos distintos padrões ambientais identificados previamente por meio da interpretação de imagens de sensores remotos.

Dependendo da área, os caminhos ou estradas já existentes são suficientes para executar os trabalhos de campo, como é o caso mostrado na Figura 28. Outras vezes, torna-se necessária a abertura de picadas, em conformidade com o transecto previamente definido a partir da interpretação preliminar.



**Figura 28.** Seção de imagem de satélite mostrando as linhas de interpretação preliminar (em vermelho) de uma área a ser mapeada, as estradas a serem percorridas em campo (linhas retilíneas na imagem em cor clara) e os locais marcados para investigação nas proximidades das estradas (em cor azul).

Fonte: IBGE (2015a).

Com exceção de alguns locais nas regiões amazônica e do pantanal mato-grossense, o Brasil já dispõe de acessos em quantidade satisfatória para desenvolver levantamentos generalizados (escalas menores que 1:750.000), uma vez que, nesse nível de levantamento, é previsto uma considerável margem de extrapolação de padrões de imagem. De maneira análoga se dá para os levantamentos de nível intermediário (escala de 1:100.000 a 1:750.000). As limitações ao mapeamento de solos devido à falta de acesso tendem, em geral, a aumentar à medida que se aumenta o nível de detalhamento do mapeamento. Essa questão, contudo, é bastante dependente da região e dos ambientes onde o trabalho está sendo realizado.

Embora não mais comum na atualidade, cabe mencionar que o Projeto RADAM/RADAMBRASIL, quando em seu trabalho na região amazônica, devido à carência de acessos terrestres, elaborou parte de seus trabalhos de campo utilizando vias fluviais (rios) e aéreas. Para isso, os locais de averiguação em meio à floresta foram previamente selecionados com base na interpretação preliminar das imagens de radar. Para o alcance dos alvos em meio à mata fechada, equipes especializadas em descida por rapel eram utilizadas para abertura das clareiras que, posteriormente, possibilitavam o acesso de helicópteros que transportavam as equipes técnicas.

## Trabalhos de campo

### Caracterização dos solos

Consta de ações para separar horizontes ou camadas, descrever a morfologia, coletar amostras, caracterizar analiticamente e classificar um solo segundo sistemas taxonômicos específicos.

### Descrição de perfis e coleta de amostras de solos

Perfis representativos das classes de solos mais importantes que constituem os componentes das unidades de mapeamento de solos devem ser descritos, amostrados e classificados.

As normas para descrição e coleta de solos no campo são encontradas no Guia Prático de Campo (IBGE, 2015b) e no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015), enquanto as informações sobre amostragem e caracterização analítica de solos são encontradas no item 1.2 do Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015a).

A descrição dos perfis representativos dos ambientes e a coleta de amostras de solos para análises físicas, químicas e mineralógicas podem ser feitas concomitantemente aos trabalhos de mapeamento, ou podem ser realizadas em etapa posterior ao mapeamento propriamente dito. A primeira situação é mais comum em levantamentos mais generalizados (que contemplam grandes áreas) uma vez que neles são percorridas grandes distâncias, o que torna contraproducente o retorno às áreas previamente selecionadas em campo para posterior descrição e amostragem. Nos mapeamentos menos generalizados, a descrição dos perfis e a amostragem dos solos podem ser realizadas em etapa posterior ao mapeamento propriamente dito. Em ambos os casos, os trabalhos podem ser realizados lançando-se mão de tradagens, observações e coletas de solos em barrancos de estrada ou abrindo trincheiras para esse fim.

### Número de amostras e de observações

No Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015a), constam orientações sobre os tipos de amostragem utilizados na caracterização de um solo no campo, os quais são bastante dependentes da natureza do trabalho que está sendo realizado.

O quantitativo de descrições de perfis e amostragens de solos, assim como de observações de campo a serem realizadas, dependem de muitos fatores e, portanto, é de difícil mensuração. Algumas instituições contratantes de trabalhos de levantamentos de solos estabelecem o número de amostragens e de observações mínimas em seus termos de referência por ocasião da contratação do serviço de pedologia, enquanto outras não.

Existem na literatura recomendações diversas sobre o assunto (Estados Unidos, 2014). No Brasil, é sugerida uma quantidade mínima de observações (IBGE, 2015a) em função do nível de detalhamento do levantamento de solos a ser executado.

Devido à grande variabilidade natural de ocorrência de solos na paisagem, a regra geral é que cada classe representativa dos solos que ocorrem em determinado ambiente deverá ter sempre um perfil completo descrito e coletado para caracterização de rotina, independentemente do nível de generalização do trabalho. A intensidade de amostragem deverá ser aumentada nos levantamentos mais detalhados.

O aumento da densidade da amostragem ou sua complementação deve obedecer também a critérios de proporcionalidade territorial, ou seja, quando todas as classes de solos representativas de uma determinada área que está sendo mapeada já foram contempladas com a amostragem mínima, direcionar a complementação da amostragem para as classes que tiverem maior representatividade espacial ou que ocuparem as maiores áreas mapeadas, como, por exemplo, amostrar em delineamentos (ou manchas) de solos ainda não amostrados, mas que pertencem a UMs que ocupam extensiva área e seus solos já foram devidamente amostrados em outro delineamento.

No que se refere ao número de observações (exames de solos no campo), devem ser realizados na quantidade necessária para proporcionar ao pedólogo a segurança suficiente a fim de concluir o mapeamento com qualidade. Isso significa que o mapa de solos produzido represente o mais fidedignamente a realidade de campo.

### Classificação dos solos

Os perfis de solos, depois de descritos, coletados e analisados, devem ser classificados segundo o SiBCS (Santos et al., 2018).

Um sistema taxonômico de classificação de solos é uma ferramenta de comunicação, facilitadora da troca de conhecimentos e da caracterização rápida de um determinado tipo de solo. Possibilita às pessoas, especialistas ou não, a troca de informações e a transferência de conhecimentos a respeito das características e funcionalidades de determinado tipo de solo (Resende et al., 2014).

Nesta publicação, serão enfocados aspectos pertinentes à classificação de solos segundo o SiBCS.

O SiBCS, assim como outros sistemas taxonômicos de solos, se baseia em características morfológicas dos solos observadas em campo (principalmente nos níveis categóricos mais elevados do sistema), assim como na associação da morfologia com as suas características físicas, químicas e mineralógicas (todos os níveis categóricos) para a distinção entre classes de solos.

Os solos, ao se formarem a partir das rochas locais ou de outros materiais de origem (sedimentos, por exemplo), são mais ou menos desenvolvidos em função do tipo e da intensidade dos processos pedogenéticos atuantes. Diferenciam-se da superfície para a base em estratos geralmente dispostos paralelos à superfície do terreno, os quais se convencionou chamar de horizontes ou camadas. A Figura 29 mostra a foto de um perfil de solo com seus horizontes A, B e C (este último pode ser horizonte ou camada) e a camada R. Para mais detalhes sobre esses e outros horizontes e camadas constituintes dos solos, sugere-se consultar o SiBCS (Santos et al., 2018).



- ← A = horizonte mais superficial e de maior conteúdo de carbono orgânico (cor mais escura)
- ← B = horizonte mais desenvolvido e de máxima expressão da pedogênese (cor avermelhada)
- ← C = horizonte ou camada com características intermediárias rocha/solo (cor esbranquiçada)
- ← R = rocha em alteração

**Figura 29.** Foto de um perfil de Argissolo Vermelho, destacando-se os seus horizontes principais e a camada de rocha. Localiza-se a cerca de 15 km de Itauçu em direção a Araçu, estado de Goiás. Coordenadas: 16o16'30"S. e 49o39'40" WGr. Foto: Virlei Álvaro de Oliveira.

#### Mapeamento dos solos no campo

Essa atividade é de fundamental importância na execução dos mapeamentos de solos: é ela que define as classes de solos componentes das UMs, bem como possibilita retificar ou ratificar as delimitações traçadas no ato da interpretação/fotointerpretação preliminar. É realizada por meio de deslocamento na área de estudo, ocasião em que se faz a identificação dos solos, de suas ocorrências na paisagem (relação solo-paisagem) e de suas associações aos padrões de imagem previamente identificados na interpretação/fotointerpretação preliminar. É também no campo que se faz a conferência dos limites entre as UMs, corrigindo ou mantendo os delineamentos traçados na interpretação/fotointerpretação preliminar.

Independentemente do nível de detalhamento empregado no levantamento de solos, é questão crucial o controle absoluto do posicionamento em campo

em relação ao material cartográfico (imagem ou fotografia) utilizado como apoio durante o mapeamento.

Em todos os momentos, quer parado para uma observação ou coleta, quer em deslocamento, deve-se ter o controle do posicionamento e, para isso, é fundamental o uso do GPS e de imagens com grade de coordenadas de forma a facilitar a localização dos pontos analisados. Obviamente, o trabalho de localização em campo tem maior precisão quando realizado por programas computacionais.

Outra recomendação importante é que, no início de cada trabalho de campo, seja realizada uma viagem de correlação de solos com toda a equipe envolvida na execução do projeto. Essa viagem tem como objetivos, sobretudo, o estabelecimento da legenda preliminar do mapa de solos e a padronização de critérios técnicos entre os participantes da equipe no que se refere, por exemplo, a aspectos relacionados à descrição e classificação dos solos, ao número de amostragem e de observações a serem realizadas, e à definição do número de componentes nas associações de solos de UMs. Todos esses critérios padronizados convergem para a melhor qualidade do mapeamento. Nessa ocasião, também se pode selecionar locais e avaliar a necessidade para realização de observações, coleta de amostras e abertura de trincheiras, bem como reconhecer as possibilidades de acesso na área (condições de trafegabilidade), observar a existência de cortes de estrada, a disponibilidade de infraestrutura de apoio logístico e de alimentação e a possibilidade de contratação e avaliação do custo de mão de obra para apoio aos trabalhos de campo.

Mapeamento de solos de grandes áreas em níveis não detalhados (escalas < 1:10.000)

Nesses tipos de levantamentos, é comum a utilização de veículos para deslocamento, sendo recomendado:

- a) Que o veículo disponha de odômetro.
- b) Ter em mãos aparelhos GPS, imagens (interpretadas preliminarmente) e cartas planialtimétricas georreferenciadas, com os acessos, transectos e grade de coordenadas bem visíveis de forma a facilitar a localização e navegação. O material pode ser impresso em papel ou ser utilizado em meio digital em tablets e laptops.
- c) Munir-se de caderno, caderneta ou mesmo de aplicativos em meio digital que possibilitem realizar anotações com eficiência.

**Atividades a serem desenvolvidas nos transectos ou acessos:**

- a) Posicionar-se em relação às cartas planialtimétricas e às imagens contendo a interpretação preliminar.
- b) Identificar os solos nas diferentes posições da paisagem (fundos de vales, encostas, topos, etc.) em cada unidade de mapeamento (padrão de imagem) delimitada na interpretação preliminar. As observações para a identificação dos solos em cada ambiente podem ser realizadas em barrancos de estradas, aberturas naturais (ravinas e voçorocas), por meio de tradagens (furos com auxílio de trado) e abertura de mini-trincheiras, sempre anotando a localização por km rodado em relação a uma referência e as coordenadas geográficas.
- c) Correlacionar as classes de solos e relações solo-paisagem em campo aos padrões da imagem (ou outro sensor) interpretados. Se possível, anotar também o símbolo da classe de solo de cada local visitado e prospectado.
- d) Definir os solos principais (dominante – que ocorre em maior extensão na UM; subdominante – que ocorre em menor extensão em relação ao dominante; e inclusão – que ocorre em área inferior a 15% na UM) durante o deslocamento ao longo dos transectos.
- e) Caso seja possível, realizar as observações a distâncias regulares.
- f) Estar atento à posição na imagem e às mudanças de ambientes (paisagens) durante o caminhamento no transecto que podem auxiliar na identificação dos solos. Anotar todas as mudanças percebidas (feições do relevo, vegetação, litologia, incluindo atributos – cor, por exemplo – e classes de solo).
- g) Atentar para os barrancos de estrada e outras aberturas do terreno (erosões, áreas de empréstimo, etc.) que podem auxiliar na identificação dos solos e mudanças de ambiente, as quais, também podem ser observadas nos cupinzeiros e em terras reviradas por árvores caídas.
- h) Atentar e anotar as mudanças no padrão de uso da terra e de cobertura vegetal ao longo do transecto.
- i) Anotar ou controlar sempre a quilometragem do odômetro do veículo a fim de permitir a amarração das informações levantadas em campo,

como a localização precisa dos pontos amostrais, por exemplo, e sua posição em relação aos padrões observados nos mapas básicos utilizados no mapeamento.

- j) Sempre anotar a quilometragem quando da passagem por toponímias, como rios, córregos, cidades, povoados, procurando identificá-los com nome a fim de facilitar a “amarração” final e localização.
- k) Antes de concluir os trabalhos de campo, verificar se todos os padrões observados ou UMs delimitadas nos sensores utilizados na interpretação preliminar foram visitados em pelo menos uma situação. Em caso negativo, definir uma estratégia para alcançá-los quando não for possível lançar mão de extrapolações confiáveis para esses locais não percorridos.

No início dos mapeamentos de solos em campo, fazem-se as constatações e registros das relações solo-paisagem da área de estudo. À medida que o trabalho evolui, há a familiarização com essas relações que, em geral, se repetem ao longo dos transectos. Nesse estágio, o trabalho de mapeamento passa a ser mais de confirmação, exigindo menos tempo e observações detalhadas em cada ponto amostral.

Mapeamento de solos de pequenas áreas em nível detalhado (escalas  $\geq 1:10.000$ )

Nesta escala detalhada de levantamentos de solos, é mais comum um trabalho misto, com utilização de veículos e deslocamentos a pé. Nesses casos, recomenda-se:

- a) Caso existam acessos, devem ser utilizados como transectos. Ainda assim, quase sempre se faz necessário o caminhamento a pé dentro ou fora dos acessos com o objetivo de alcançar todas as variações ambientais (padrões de imagem que irão gerar as UMs) delimitadas na interpretação preliminar, procedendo-se à observação ou amostragem necessária à identificação e classificação dos solos e registro da paisagem.
- b) Todos os padrões de ambiente devem ser identificados e percorridos para definição das UMs. Raramente se emprega a extrapolação de padrões de imagem para áreas não visitadas em mapeamentos de solos nessa escala de trabalho.

## Elaboração de legendas dos mapas de solos

A legenda de um mapa de solos é a relação de todas as ocorrências de solos identificadas no decorrer dos trabalhos de campo, devidamente caracterizadas por averiguações e coleta de amostras no campo e suas determinações analíticas, cujas informações possibilitam sua classificação em sistemas taxonômicos de solos. As ocorrências são organizadas por UM que seguem uma ordem alfabética, segundo critérios vigentes no SiBCS (Santos et al., 2018). As UMs são áreas delimitadas nos mapas que contemplam uma ou mais classes de solos que, por sua vez, se relacionam com a paisagem, geralmente delimitadas no processo de interpretação dos produtos de sensores. Assim, a descrição das UMs também contempla aspectos do seu ambiente físico, como relevo, fases de vegetação e outros solos de menor ocorrência, cuja forma de registro obedece a critérios pré-estabelecidos em sistemas taxonômicos de solos.

### Legenda preliminar

A legenda preliminar, como explícito no nome, se trata de um tipo de legenda elaborada na fase inicial dos trabalhos do levantamento, ou seja, geralmente é a precursora da legenda final ou definitiva. Nos primeiros trabalhos realizados no Brasil, foi amplamente utilizada e muitas vezes era elaborada antes dos primeiros trabalhos de campo, com base em informações indiretas de geologia, principalmente, ou de informações dos pouquíssimos mapas de solos existentes. Naquela época, ao longo dos levantamentos, a legenda preliminar era ajustada até se tornar a definitiva ao final do trabalho.

Nos tempos atuais, como todo o território nacional é servido de mapeamentos de solos pelo menos em níveis generalizados, nem sempre essa modalidade de legenda é elaborada, sendo que alguns pedólogos usam as legendas dos mapas generalizados existentes com essa mesma função. Outros costumam elaborá-la concomitante ou imediatamente após os trabalhos de campo, durante os quais são relacionadas todas as ocorrências de solos, especificando o seu ambiente físico (relevo, fases de vegetação, associação com outras classes de solos). Essas ocorrências irão constituir as UMs que recebem ou podem receber um símbolo provisório. Esse símbolo provisório é a legenda preliminar do mapa de solos de determinada área de estudo.

## Legenda definitiva

Como o próprio nome indica, a legenda definitiva é a que acompanhará o mapa de solos final, a qual deve ser a mais completa e precisa possível. Deve ser elaborada a partir dos ajustes da legenda preliminar, realizados durante as prospecções de campo e de posse dos resultados analíticos das amostras de solos. Após o recebimento dos resultados de análises de laboratório das amostras coletadas em campo (por meio de tradagens, perfis, minitrincheiras, barrancos de estrada, etc.), proceder à classificação definitiva dos perfis e observações segundo o sistema taxonômico utilizado até o nível categórico adequado ao nível do levantamento. O solo ou solos devidamente classificados em cada UM da legenda preliminar irá ou irão definir a legenda definitiva do mapa final de solos.

Alguns procedimentos comuns para estabelecimento da legenda definitiva de solos:

- a) Em mapas generalizados, caso seja necessária a extrapolação de informações para definir a legenda definitiva de polígonos (UMs) delimitados na interpretação preliminar que não foram visitados durante as prospecções de campo, mas foram considerados de mesmo padrão ou pertencente à mesma UM em relação a outros visitados e também delimitados na interpretação preliminar, recomenda-se recorrer a mapas temáticos preexistentes, como de geomorfologia, geologia, vegetação e mesmo a mapas de solos menos detalhados a fim de melhor definir a legenda definitiva do polígono não visitado. Se necessário, alterar a legenda da UM em questão ou, quiçá, definir uma nova para esse polígono não visitado.
- b) Também, em mapas generalizados, há a possibilidade de se criar novos polígonos ou UMs que não foram delimitados na interpretação preliminar, mas foram definidos nas prospecções de campo. Nesse caso, reavaliar a interpretação preliminar a fim de encontrar padrões semelhantes a essa UM definida exclusivamente em campo, bem como recorrer, tal como no item anterior, a mapas temáticos preexistentes, como de geomorfologia, geologia, vegetação e mesmo recorrer a mapas de solos menos detalhados a fim de melhor definir a legenda definitiva de tal ou tais polígonos.
- c) Utilizar critérios bem definidos de simbologia e de ordenação das classes de solos segundo consta no Manual Técnico de Pedologia (itens 3.2.6.16 e 3.2.6.17; IBGE, 2015a) e no SiBCS (Santos et al., 2018) a fim de montar a legenda definitiva do mapa de solos.

## Elaboração do mapa de solos

Depois de efetuados os devidos ajustes no mapa preliminar de solos com sua respectiva legenda, a próxima etapa é a elaboração do mapa definitivo, quando há a transferência dos delineamentos para a base cartográfica oficial.

Em tempos anteriores, esse processo era feito manualmente com a utilização de “mesa de luz” e base cartográfica em papel transparente. Algumas vezes eram necessárias reduções fotográficas para ajuste de escala, como fez o Projeto RADAM/RADAMBRASIL, que reduzia de 1:250.000 (escala de trabalho) para 1:1.000.000 (escala de apresentação). Todas as linhas da interpretação, depois de ajustadas à sua escala final, eram lançadas sobre a base e, nessa operação, eram corrigidas muitas distorções em consequência das características das imagens utilizadas. Atualmente, esse procedimento é feito integralmente em meio digital, seja utilizando escâner para digitalizar o mapa de solos final, até então em papel, seja realizando as interpretações já em meio digital. Em ambos os casos, utilizam-se programas computacionais específicos.

O importante é que sejam apresentadas sobre bases cartográficas, preferencialmente oficiais. As informações que devem obrigatoriamente acompanhar o mapa de solo, bem como sugestões para a sua disposição (“layout”), podem ser consultadas no Manual Técnico de Pedologia em seu item 3.2.6.13 (IBGE, 2015a).

## Referências

BRASIL. Decreto nº 9.414, de 19 de junho de 2018. Institui o Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos do Brasil. **Diário Oficial da União**, 20 jun. 2018. Seção 1, p. 4. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=515&pagina=4&data=20/06/2018>>. Acesso em: 3 jun 2019.

ESTADOS UNIDOS. **Soil Survey Staff. Soil survey field and laboratory methods manual**. Lincoln: USDA, Natural Resources Conservation Service, 2014. 457 p. (Soil Survey Investigations Report, n. 51). Version 2.0. Disponível em: <[https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1244466.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1244466.pdf)>. Acesso em: 3 jun. 2019.

ESTADOS UNIDOS. Soil Survey Staff. **Soil survey manual**. Washington, DC, 2017. 603 p. (USDA. Agriculture handbook, 18). Disponível em: <[https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA\\_NRCSCconsumption/download/?cid=nrcseprd1333016&ext=pdf](https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download/?cid=nrcseprd1333016&ext=pdf)>. Acesso em: 3 jun. 2019.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2015a. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2019.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**: guia prático de campo. 3. ed. Rio de Janeiro, 2015b. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95015.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2019.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 7th ed. Hoboken: Wiley, 2015. 736 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 307 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F.; KER, J. C. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 6. ed. Lavras: Editora UFLA, 2014. 378 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>>. Acesso em: 3 jun. 2019.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

**Embrapa**

---

**Solos**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL